

حمدى يس الدسوقي

# القياسات فنى الصناعة

المعارف  
التكنولوجية

(شركة)

د. أنور عبد الواحد



دار المعارف





المعارف التكنولوجية

بإشراف الدكتور أنور عبد الواحد

# القياسات فنى الصناعة

الفيزيائي

حمدى يس الدسوقي



دار المعارف

الناشر : دار المعارف - ١١١٩ كورنيش النيل - القاهرة ج . م . ع .



## فهرس المحتويات

الصفحة

١٠	الباب الأول : القياس قديماً وحديثاً
١١	١/١ القياس عند قدماء المصريين
١٣	٢/١ القياس عند الرومان
١٣	٣/١ القياس عند الأوربيين
١٤	٤/١ نشأة النظام المترى
١٧	٥/١ النظام الدولى لوحدات القياس
١٩	الباب الثانى : مصطلحات وتعريف أساسية
٢٦	الباب الثالث : قياس درجة الحرارة
٢٦	١/٣ أسس قياس درجة الحرارة
٢٧	٢/٣ مقاييس درجة الحرارة
٢٨	٣/٣ أجهزة قياس درجة الحرارة
٢٨	٤/٣ ترمومترات التمدد
٢٨	١/٤/٣ تمدد الاجسام الصلبة
٢٨	١/١/٤/٣ الترمومترات ثنائية المعدن
٣١	٢/١/٤/٣ الترموستات
٣٢	٢/٤/٣ تمدد السوائل
٤٤	٣/٤/٣ تمدد الغازات
٤٤	١/٣/٤/٣ ترمومترات الغاز
٤٤	٥/٣ ترمومترات تغير الحالة

## الصفحة

٤٤	ترمومترات ضغط البخار	١/٥/٣
٤٥	المخروطات البيرومترية	٢/٥/٣
٤٦	الطرق الكهربائية لقياس درجة الحرارة	٦/٣
٤٦	ترمومترات المزدوجات الحرارية	١/٦/٣
٤٨	أنواع المزدوجات الحرارية	١/١/٦/٣
٥٠	أسلاك التوصيل وأسلاك التمديد	٢/١/٦/٣
٥١	استخدامات المزدوجات	٣/١/٦/٣
٥٣	وقاية المزدوجة الحرارية من الضوضاء	٤/١/٦/٣
٥٤	خصائص المزدوجات الحرارية	٥/١/٦/٣
٥٧	معايرة المزدوجات الحرارية	٦/١/٦/٣
٥٨	ملاحظات خاصة بتركيب المزدوجات واستخدامها	٧/١/٦/٣
٥٩	مزايا المزدوجات الحرارية وعيوبها	٨/١/٦/٣
٦٠	ترمومترات المقاومة الكهربائية	٢/٦/٣
٦١	أنواع ترمومترات المقاومة	١/٢/٦/٣
٦٥	خصائص ترمومترات المقاومة	٢/٢/٦/٣
٦٥	معايرة ترمومترات المقاومة المستخدمة في الصناعة	٣/٢/٦/٣
٦٥	ترمومترات الإشعاع	٧/٣
٦٦	أساس تشغيل ترمومترات بيرومترات الإشعاع	١/٧/٣
٧٠	أسس قياس درجات حرارة الأجسام الساخنة	٢/٧/٣
٧١	بيرومترات الإشعاع الكلي	٣/٧/٣
٧٥	البيرومترات البصرية	٤/٧/٣
٨٠	المبيئات اللونية	٨/٣

## الصفحة

٨١	الباب الرابع : قياس الرطوبة
٨٣	١/٤ قياس الرطوبة النسبية
٨٣	١/١/٤ هيجرومتر الشعر
٨٤	٢/١/٤ مقياس الرطوبة ذو البصيلتين الجافة والمبللة
٨٦	٢/٤ قياس الرطوبة في الصناعة
٨٧	٣/٤ تعيين نقطة الندى
٨٨	٤/٤ ملاحظات خاصة باستخدام أجهزة قياس الرطوبة
٩٠	الباب الخامس : قياس الضغط
٩٠	١/٥ الضغط المطلق والضغط الفرق
٩١	٢/٥ طرق قياس الضغط
٩١	٣/٥ تصنيف طرق قياس الضغط
	١/٣/٥ قياس الضغط عن طريق الموازنة مع عمود من سائل معلوم
٩١	الكثافة
٩٢	٢/٣/٥ قياس الضغط عن طريق الموازنة مع قوة معلومة
٩٢	٣/٣/٥ قياس الضغط بالموازنة بين قوة مؤشرة على مساحة معلومة
	و بين الإجهاد في وسط مرن
٩٢	٤/٣/٥ طرق أخرى
٩٢	٤/٥ أنبوبة U البسيطة ( المانومتر شكل U )
١٠٣	٥/٥ وسائل التخمين
	٦/٥ قياسات الضغط بواسطة موازنة القوة الناتجة على مساحة
١٠٣	معلومة مع قوة مقيسة

## الصفحة

١٠٤	طريقة المكبس	١/٦/٥
١٠٨	مقياس الضغط ذو الناقوس	٢/٦/٥
١١٠	مقياس الضغط ذو الغشاء اللين	٣/٦/٥
١١٠	قياس الضغط بموازنة القوة الناتجة على مساحة معلومة مع الاجهاد الناتج في وسط مرن	٧/٥
١١٠	أنايب « بوردون »	١/٧/٥
١١٤	الأغشية	٢/٧/٥
١٢١	طرق أخرى لقياس الضغط	٨/٥
١٢١	مقياس « بيراني »	١/٨/٥
١٢٦	مقياس التفريغ ذو المزدوجة الحرارية	٢/٨/٥
١٢٦	مقياس التفريغ بالتأين بواسطة فتيلة ساخنة	٣/٨/٥
١٢٧	مقياس التفريغ بالتأين بواسطة مصدر مشع	٤/٨/٥
١٢٨	مقياس الضغط الكهربائي الاجهادي	٥/٨/٥
١٢٨	طريقة مقياس الانفعال بتغير المقاومة	٦/٨/٥
١٣١	ملاحظات خاصة بتركيب واستعمال أجهزة قياس الضغط	٩/٥
١٣٢	معايرة أجهزة قياس الضغط	١٠/٥

## الباب السادس : قياس تدفق الغازات والسوائل

١٤٣	عدادات الحجم أو الكتلة	١/٦
١٤٤	عداد الكتلة	١/١/٦
١٤٥	عدادات حجوم السوائل	٢/١/٦
١٤٥	العداد ذو الخزان	١/٢/١/٦



## الصفحة

١٤٦	عدادات الإزاحة الموجبة	٢/٢/١/٦
١٤٩	عدادات معدل التدفق	٢/٦
١٥٠	عدادات معدل التدفق للسوائل	١/٢/٦
١٥٠	عداد الريشة الدوارة	١/١/٢/٦
١٥١	قياس التدفق بواسطة قياس الضغط الفرق	٣/٦
١٥٤	طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط المتغير	١/٣/٦
١٥٩	طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط الثابت	٢/٣/٦
١٦١	طرق المساحة المتغيرة وعلو الضغط الثابت	٣/٣/٦
١٦١	طرق المساحة المتغيرة وعلو الضغط المتغير	١/٣/٣/٦



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## الباب الأول

### القياس قديماً وحديثاً

تعتبر المقاييس والأوزان من بين الوسائل الأولى التي ابتكرها الإنسان . فالمجتمعات البدائية وجدت أنها بحاجة إلى مقاييس مختلفة لتنفيذ كثير من الأعمال مثل بناء المساكن وتحديد مساحات الأراضي الزراعية ، ولتقايسة المواد الغذائية والمواد الخام ، ولرابعة فيضان الأنهار والتحكم فيها ، وغير ذلك من شئون الحياة المختلفة .

وقد أجال الإنسان نظره ، بطبيعة الحال ، فيما حوله . وتأمل نفسه فوجد ضالته في أجزاء جسمه وفي الظواهر الطبيعية . واتخذ الذراع ، وكف اليد ، والأصبع وغيرها مقاييس للطول ، كما استفاد من شروق الشمس وغروبها ودورة القمر والفصول الأربعة في استنباط مقياس للزمن ، وتشير النقوش والآثار التي خلفها البابليون ، والمصريون القدماء أن الطول كانت الكمية الأولى التي تم قياسها . واستطاع الإنسان قياس السعة (الحجم) عن طريق ملء إناء بالحبوب ثم سكبها وعدها ، ولما وجد أن تلك الطريقة غير عملية ، ابتكر مكايل مبنية على أساس وحدة الطول ، وتلا ذلك اختراع الموازين البسيطة واتخذ الأحجار والحبوب أوزاناً (سجاً) لها .

وأخذ كل مجتمع من المجتمعات البشرية ينشئ مقاييسه ويطورها طبقاً لاحتياجاته وحضارته وإمكاناته العلمية . وربما أخذ عن غيره من المجتمعات بعض الوحدات ثم أضاف إليها تبعاً لظروفه . لذلك نشأت نظم لوحدات القياس وتنوعت



وتعددت في كل دولة . ومن أهم هذه النظم النظامان المترى والإنجليزى .  
وقد بذلت محاولات وجهود كبيرة ومضنية لخلق نظام موحد لتلك الوحدات  
يكون مرجعاً عاماً لكافة البشر ، ويعتبر في الوقت ذاته صالحاً لجميع الأغراض  
العلمية والفنية والتجارية وغيرها . وقد توجت هذه الجهود بنظام يسمى « النظام  
الدولى لوحدات القياس » . ونجد من المناسب قبل أن نقدم للقارئ تكوين هذا  
النظام الدولى ، وتعريف وحداته ومزاياه التى يتفوق بها على كافة النظم الأخرى ، أن  
نلقى الضوء بإبراز اللحظات الرئيسية لتاريخ وتطور وحدات القياس والجهود المضنية  
التي أدت إليه .

#### ١ / ١ القياس عند قدماء المصريين :

كان للمصريين القدماء دور بارز في مجال إنشاء وتطوير وحدات القياس ، فقد  
كانوا أول من ابتكر نظاماً عشرياً للمقاييس والأوزان ، وأول من وضع رموزاً محددة  
للأعداد ١ - ١٠ - ١٠٠ - ١٠٠٠ . كما استخدموا النظام العشرى في التعبير عن  
مضاعفات وحدات القياس الأساسية . وكانت أهم وحداتهم ما يلى :

#### ١ - الذراع :

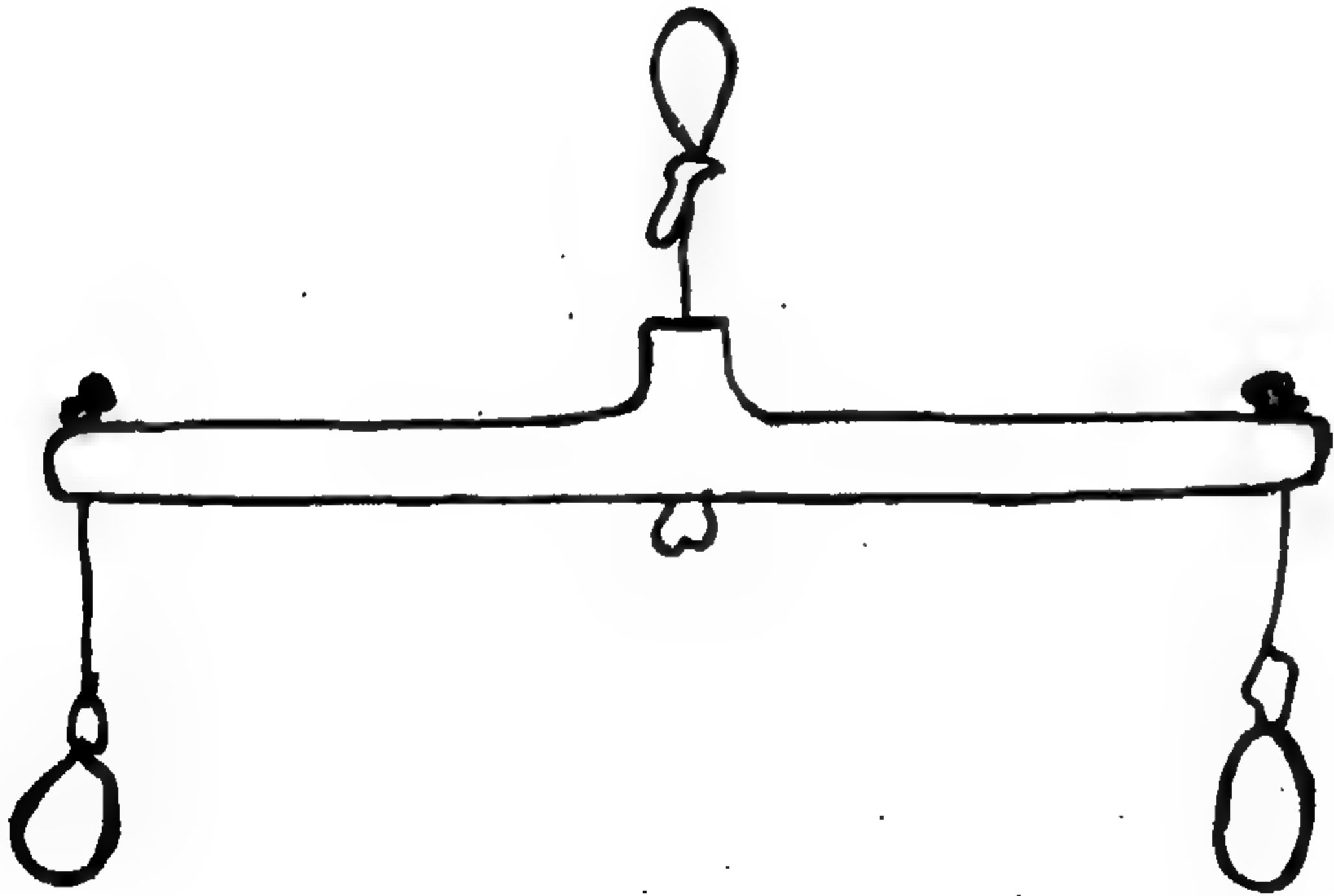
وتساوى ٥٢٩ مم ، اتخذت وحدة أساسية للطول وسميت « مية » وكان التمثيل  
العملى لها عبارة عن قطعة من الجرانيت الأسود مقسمة إلى ستة أجزاء كل منها  
يساوى كفاً سموها « شيشاب » كما قسموا الشيشاب إلى أربع أصابع وكل أصبع بالتالى  
قسم إلى أقسام أصغر . ومضاعفات الذراع هى خت (= ١٠٠ ذراع) .

#### ٢ - الشيشت :

وقد اتخذت وحدة لمساحة الأراضي الزراعية وتساوى ختاً مربعاً ( أى ١٠,٠٠٠

ذراع مربع) هذا بالإضافة إلى وحدات أخرى للحجوم والكتلة . وكانت وحدة الحجوم لديهم واسمها « تنات » مقسمة إلى ١٢٨ قسمًا متساويًا ، أما وحدات الكتلة فكانت عبارة عن أوزان (سنج) من الرخام . وما يثير الدهشة والإعجاب حقًا أن بعض هذه السنج كانت تحتوي على فجوة للضبط (بواسطة معدن الرصاص) وهي ذات الطريقة المتبعة حاليًا في ضبط الأوزان عند صناعتها أو معايرتها .

وقد ابتكر المصريون كذلك الموازين . ويوضح الشكل رقم (١) ميزانًا لقدماء المصريين ( ٥٠٠٠ سنة قبل الميلاد) وجد في أحد المقابر في مصر ، وطول قب هذا الميزان حوالي ٨,٥ سم .



الشكل رقم (١)

ميزان قدماء المصريين

وقد كان المصريون أيضاً أول من وضع أساس ما يعرف اليوم بالمتروlogيا أو القياسات القانونية ، إذ أنهم وضعوا نظاماً يقضى بضرورة مراجعة أدوات القياس على المراجع الأساسية لها دورياً .

### ٢ / ١ القياس عند الرومان :

وكما كان للمصريين دور رائد في ابتكار وتطوير وحدات للقياس وصناعة أدواته ، فقد كانت للرومان مساهمات قيمة في هذا المجال . ذلك أنهم أول من استعمل الألواح ذات الفتحات في قياس كميات الماء الموزعة على المنازل ، كما أنهم كانوا أول من استعمل الطريقة الاثني عشرية في العد ، وقد قسموا الـ « بس » ، أى القدم الرومانية ، إلى اثني عشر قسماً سموها كلا منها « أونصيه » ومنها اشتقت « فيما بعد ، الكلمتان « أنش أى بوصة » و « الأونس » أى أوقية . وقد استعمل الرومان وحدة لقياس الطول مساوية ٥٠٠٠ قدم وهى الميل ، كما استعمل الرومان أيضاً « الليبرة » أى الباوند أو الرطل وحدة أساسية للوزن ووحدة « أمفورا » وتساوى قدماً مكعبة في قياس الحجم ، أما وحدة المساحة لديهم فكانت تسمى « جوجيرم » وبالإضافة إلى ذلك فقد كانت لهم وحدات أخرى لا يتسع المقام لسردها .

### ٣ / ١ القياس عند الأوريين :

أخذ الأوريين عن الرومان وحداتهم ، غير أن تطور المجتمعات ، بعد سقوط الإمبراطورية الرومانية ، أدى إلى ظهور أوزان ومقاييس محلية خاصة بها مما أوجد كثيراً من اللبس .

وفى عام ٧٨٩ م أصدر الملك « شارلمان » مرسوماً يقضى بتوحيد المقاييس فى جميع البلاد الواقعة تحت سلطانه ، ولكن لسوء الحظ فشلت هذه المحاولة واستمر الوضع بالنسبة للمقاييس على ما هو عليه من تعدد وارتباك ، وذلك رغم محاولات

أخرى بذلت لتوحيدها في القرنين الخامس عشر والسادس عشر. وفي عام ١٦٧٠ ابتكر الفرنسيون وحدة لقياس الأطوال «توازدي شاتيليه» ، وهي تساوي ستة أمثال قدم الملك، وكانت هذه القدم الملكية تعادل ٣٢,٥ سم ، ومنه اشتقت البوصة بالقسمة على ١٢ والlinie بالقسمة على ١٤٤ ، والنقطة بالقسمة على ١٧٢٨ . وفي القرن السادس عشر اتخذ الإنجليز «الباوند» وحدة لقياس الوزن ، ويعادل ٤٥٣ جم ، ومنه اشتقت الأونس (أى الأوقية) . كما اتخذوا الياردة وحدة للطول وهي تساوي ثلاث أقدام ، والقدم تساوي ١٢ بوصة . والياردة والباوند هما أساس النظام الإنجليزي للوحدات .

#### ١ / ٤ نشأة النظام المترى :

قام بعض العلماء الفرنسيين في عام ١٧٤٢ م بإجراء دراسة لمقارنة وحدات القياس الباريسية بنظيراتها المستخدمة في إنجلترا ، واتضح من هذه المقارنة أن القدم الفرنسية تزيد على القدم الإنجليزية بحوالى ٦ ٪ ، وأيضاً يزيد الرطل الفرنسى على مثيله الإنجليزي بحوالى ٨ ٪ ، فاتجه هؤلاء العلماء للبحث عن وحدة ثابتة لا تنتمى لأية دولة بحيث يمكن اتخاذها أساساً لبناء نظام للقياس عالمى الصبغة . وفى هذا الصدد قدم اقتراحان لاختيار وحدة الطول ، وكان الاقتراح الأول هو اتخاذ طول البندول الذى زمن دورته يساوى ثانية واحدة وحدة لقياس الطول ، أما الاقتراح الثانى فهو أن تكون وحدة الطول هى طول جزء معين من خط الطول للكرة الأرضية .

وفى عام ١٧٩٠ طلب العلامة الفرنسى «تاليراند» من أكاديمية العلوم دراسة الاقتراحين المشار إليهما ، فرفضت الأكاديمية الاقتراح الأول لأن طول البندول يعتمد على جاذبية الأرض وبالتالي فإن الوحدة المبنية على طول البندول لن تكون ثابتة بل سوف تتغير من مكان لآخر على سطح الكرة الأرضية وأيدت الأكاديمية الاقتراح

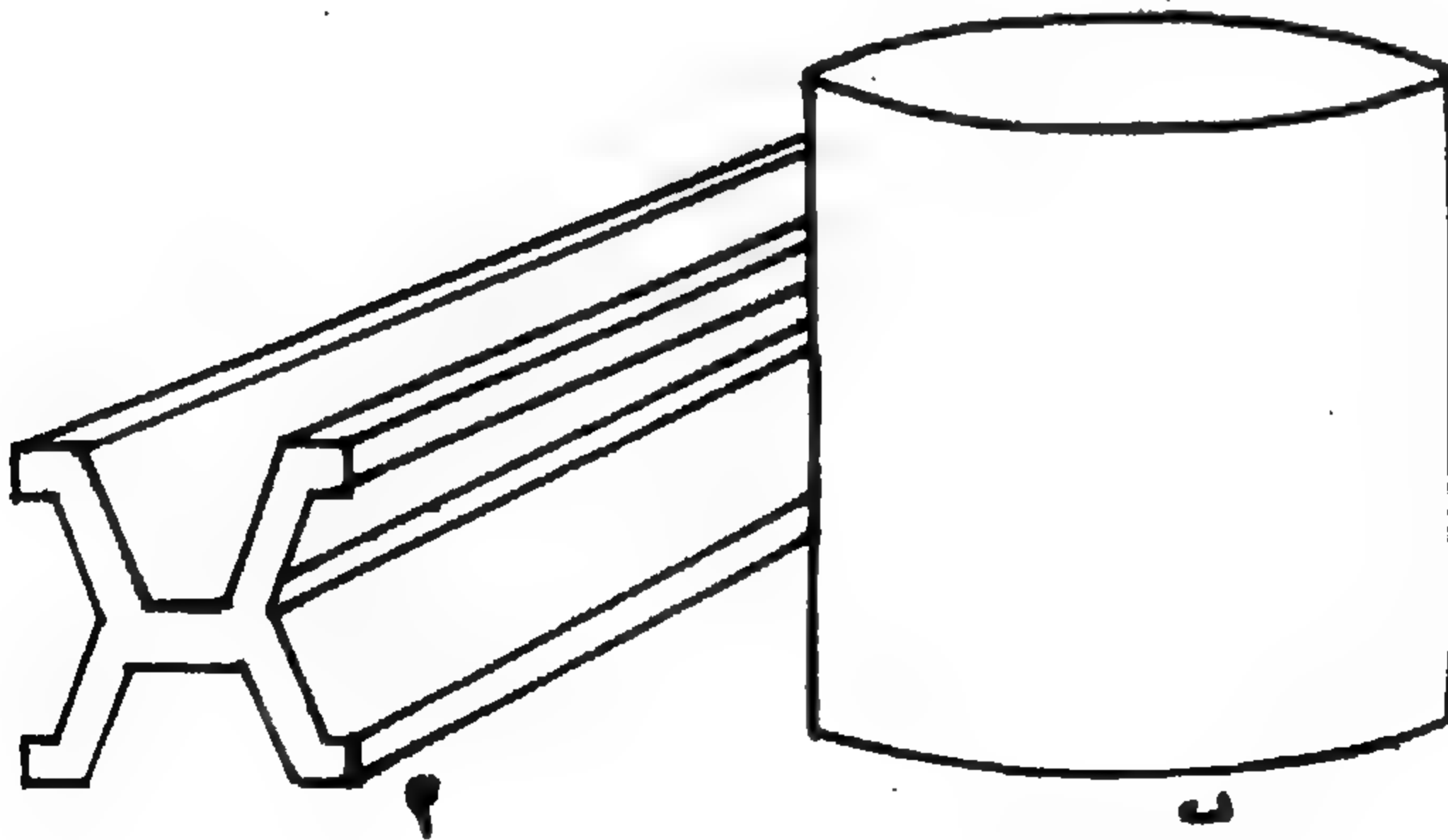


الثاني وبناء على توصية منها أنشئ نظام لوحدات القياس ، وعرف المتر بأنه الطول الذي يساوى جزءاً من عشرة ملايين جزء من طول ربع خط الطول . وتكون وحدتا المساحة والحجوم في هذا النظام هما المتر المربع والمتر المكعب على التوالي . وعرف الكيلوجرام بأنه كتلة ديسيمتر مكعب من الماء عند ٤ م وللحصول على مضاعفات أجزاء الوحدات الأساسية ، فقد تقرر استعمال بادئات عشرية مثل كيلو( = ١٠٠٠ ) وهكتور « = ١٠٠ » ، وديكا « = ١٠ » وديسي ( ٠,١ ) وسنتي ( ٠,٠١ ) . وملي ( = ٠,٠٠٠١ ) . إلخ . تلحق بالوحدات الأساسية ، فمثلاً للتعبير عن ١٠٠٠ متر يقال كيلو متر أما ٠,٠٠١ متر فيقال لها مليمتر . وهكذا .

ونظراً الآن هذا النظام الجديد ، كما رأينا ، قد بنى على المتر فقد سمي النظام المترى ، ولوعم استعمال هذا النظام لكان كفيلاً بأن يمنع حدوث كثير من المتاعب والجهود في مجالات الحياة المختلفة سواء العملية أو العلمية أو التكنولوجية أو الاقتصادية وغيرها . غير أنه لسوء الحظ لما عرض هذا النظام على الأمريكيين والبريطانيين رفضوا قبوله بحجة أنه نظام غير عملي ، وأضاعوا بذلك فرصة ذهبية لتناسق أعمال القياس في العالم وتوحيدها ، واستمروا بعد ذلك في اشتقاق وحدات قياس خاصة بهم . وبعد أن تم الاتفاق على أسس النظام المترى وجهت الجهود بقيادة العالمين « دى لامبر » و « ميشان » لقياس قوس خط الطول فيما بين دنكرك وبرشلونة حتى يمكن تحديد طول المتر وتمثيله عملياً ، وفي الوقت ذاته قام الكيميائي « لافوازييه » بقياسات دقيقة لإيجاد وزن (أو كتلة) حجم معين من الماء ، وأمكن نتيجة هذه الجهود جميعاً بناء أمام طرفي من البلاتين يمثل المتر ، وآخر من البلاتين أيضاً يمثل الكيلوجرام ، وأودع هذان الإمامان في ٢٢ يونية ١٧٩٩ في دار المحفوظات الفرنسية بباريس وهما يعتبران نقطة البدء الأساسية في تطوير النظام الدولي لوحدات القياس .

وقد أدخل النظام المترى في عدد من الدول ، ففي عام ١٨٦٤ م سمح باستخدامه إلى جانب النظام الإنجليزى في بريطانيا . وبعد ذلك بثلاث سنوات التقى عدد كبير من

علماء العالم في معرض دولي فحفزهم ما شاهدوه من تطور صناعي كبير إلى إنشاء لجنة للأوزان والمقاييس والنقود بهدف خلق تجانس أكبر في مجالات الأوزان والمقاييس والنقود في العالم . ودعت الحكومة الفرنسية عدداً من الدول لإيفاد مندوبين عنها لاجتماع دولي بشأن النظام المتري ، وأدى ذلك لإنشاء « اتفاقية المتر » عام ١٨٧٥ م التي تقرر بموجبها عمل نسخ من المتر والكيلوجرام الموجودين بدار المحفوظات الفرنسية لتوزيعها على الدول المختلفة ، وقد تم ذلك بالفعل عام ١٨٩٩ وأودع المكتب الدولي للأوزان والمقاييس بباريس نموذجان : أحدهما للمتر والآخر للكيلوجرام ، وتقرر اعتبارهما المرجع الأساسي للقياس في النظام المتري، ويوضح الشكل رقم (٢) رسماً لهذين الإمامين ، والمتر الإمامي عبارة عن قضيب خطي ذي مقطع على شكل حرف X ، أما الكيلوجرام فهو عبارة عن أسطوانة قطرها يساوي ارتفاعها (= ٣٩ مم) .



الشكل رقم (٢)

( أ ) المتر الأمامي .

( ب ) الكيلوجرام الأمامي .

(المقاس الأمامي مساو للمقاس الطبيعي)

مر النظام المترى بعد إنشائه بتطورات أدت إلى ظهور عدة أشكال منه ، فقد ظهر نظام الستيمتر - الجرام - الثانية ، الذى يشار له اختصاراً بـ سم . جم ث ، ويستخدمه الفيزيائيون فى المجالات العلمية ، وكذا نظام المتر - الكيلوجرام - الثانية ، الذى يرمز له بـ م . كجم ث ، للاستعمال فى المجالات العلمية ثم نظام المتر - الطن - الثانية للاستعمال فى مجالات الصناعات الثقيلة ، وفى مطلع هذا القرن اقترح «جورجى جيوفاى» العالم الإيطالى إضافة وحدة كهربائية (الأوم أو الأمبير) إلى نظام م . كجم . ث حتى يصبح هذا النظام صالحاً لجميع القياسات الميكانيكية والكهربائية والمغناطيسية ، وبعد تردد استمر نحو ٣٤ عاماً أخذ العلماء باقتراح جورجى واتخذ الأمبير وحدة رابعة .

#### ٥/١ النظام الدولى لوحدات القياس :

اتجه العالم بعد الحرب العالمية الثانية إلى تعميق الترابط والتعاون بين الدول ، واتخاذ كل ما يودى إلى تحقيق تفاهم دولى أفضل فى المجالات الصناعية والعلمية والتكنولوجية والتجارية وغيرها ، ومن أهم الوسائل التى تودى إلى تلك الغاية وجود نظام عام لوحدات القياس يكون مقبولاً من المجتمع الدولى . وبدراسة موقف وحدات القياس على الصعيد الدولى وجد أن هناك عدة نظم لوحدات القياس ، فالنظام المترى بأشكاله المختلفة سم . جم . ث ، م . كجم . ث ، م . طن . ث تستخدم فى الدول المترية بالإضافة إلى وحدات أخرى محلية ، كما أن النظام الإنجليزى مستخدم فى إنجلترا ومستعمراتها السابقة وفى الولايات المتحدة ، وأن وحداته ، وإن كانت تنتمى لنظام واحد ، إلا أن قيمها لم تكن واحدة فى كل من إنجلترا وأمريكا . كذلك فقد كان من الضرورى إيجاد نظام موحد ليستعمل فى العالم كله ، وقد أدت الجهود المبذولة فى هذا السبيل إلى تبنى نظام سمي «النظام الدولى لوحدات القياس» .

#### تكوين النظام الدولى لوحدات القياس :

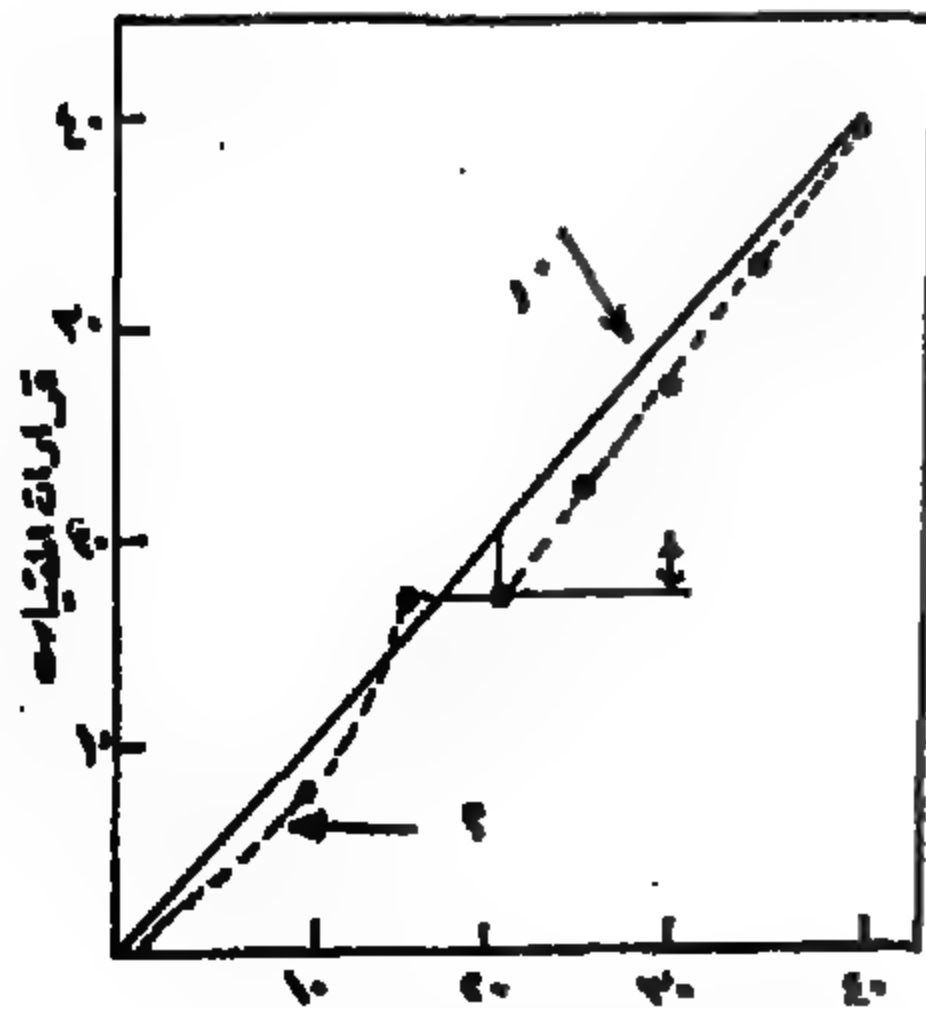
يتكون النظام الدولى لوحدات القياس من ثلاث مجموعات من وحدات القياس

تسمى المجموعة الأولى منها «الوحدات الأساسية» وتتكون من سبع وحدات هي المتر (وحدة الطول) والكيلوجرام (وحدة الكتلة) والثانية (وحدة الزمن) والأمبير (وحدة للتيار) والقنديلة (لشدة الإضاءة) والكلفن (لدرجة الحرارة الديناميكية) والجزء الجرامى (المول) لكمية المادة. أما المجموعة الثانية فهي عبارة عن وحدتين هما الزاوية نصف القطرية (راديان) وحدة للزاوية المستوية والزاوية نصف القطرية المجسمة (ستراديان) وحدة للزاوية المجسمة وتسمى هذه المجموعة الوحدات المكتملة ، أما المجموعة الثالثة فهي تضم وحدات تشتق من الوحدات الأساسية بالضرب أو القسمة لكيتين أساسيتين أو أكثر وتسمى هذه المجموعة الوحدات المشتقة .

ويتفوق النظام الدولى لوحدات القياس على النظم الأخرى بميزات أهمها ما يلى :

١ - أنه نظام دولى موصى به ، ومن ثم فهو لغة مشتركة لجميع الدول ، وأنه صالح لجميع المجالات ، وهو بهذا نظام يربط بين جميع الاهتمامات المختلفة مما يجعله وسيلة هامة من وسائل التقييس العالمى .

٢ - توجد بين وحدات هذا النظام المشتقة والأساسية علاقات بسيطة فمثلاً وحدة السرعة = ١ م / ث ، ووحدة القوة = ١ كجم . م / ث . إلخ . ويلاحظ فى هذه الأمثلة اختفاء المعاملات العددية التى كانت توجد فى ظل النظم الأخرى للوحدات ، وهذه الميزة تيسر إجراء الحسابات اللازمة للتصميم أو معالجة نتائج القياسات .



الشكل رقم (٣)

- القيم الناتجة (المعايرة) .  
 منحني التصحيح للأخطاء الإحصائية .  
 (١) التدرج المعايير (قيم حقيقية) .  
 (٢) خط قراءات الجهاز .  
 (٣) خطأ إحصائي عند قيمة حقيقية ٢٠ .



## الباب الثاني

### مصطلحات وتعريف أساسية

يزخر علم القياس بالكثير من المصطلحات التي تتعلق بالكميات التي يتم قياسها وبأجهزة القياس مثل التدرج ومداه واتساعه ، وطول قسم التدرج وقيمه وغير ذلك من المصطلحات التي تصف أجهزة القياس أو أدائها أو نتائج القياس بها مثل الدقة والصباغة والحساسية والقابلية للقراءة والاستجابة وقدرة التحليل . ومن المصطلحات أيضاً ما يتعلق بتوصيف مستويات أجهزة القياس وتصنيفها تبعاً لدقتها إلى أئمة ومرابط ومراجع وقدود القياس .

وبعض هذه المصطلحات قد تبدو - لغير المتخصصين في القياس - متداخلة أو متشابهة ، فمثلاً يلاحظ أن هناك لبساً بين مفهومي الدقة والصباغة أو بين مدى التدرج واتساعه أو بين الحساسية والقابلية للقراءة . . إلخ . لذلك فقد وجدنا من المناسب أن نفرد هذا الباب لتناول أهم المصطلحات الأساسية المستخدمة في علم القياس والتي سيرد ذكرها فيما سيلي من أبواب هذا الكتاب حيث نعطي تعريفاً لها أو معناها مع أمثلة توضيحية لها .

#### الكمية الفيزيائية :

الكمية الفيزيائية تكون إما خاصية أو صفة لجسم أو لشدة ظاهرة ما . وبصفة عامة فإن الكمية تكون عرضة للتغير ، فمثلاً من الكميات التي تصف قضيباً من الصلب نجد الطول والعرض والسلك والحجم ودرجة الحرارة والسعة الحرارية له ، ومن المعلوم أن أية زيادة في الكمية الخامسة (أي درجة الحرارة) تؤدي إلى تغير فيما سبقها من

كميات . وجدير بالذكر أن نتيجة القياس لأية كمية مهما كانت دقة الجهاز المستخدم تكون تقريبية ولا يمكن الحصول مطلقاً على القيمة الحقيقية للكمية ، ولكن يمكن الحصول على قيمة تقترب من القيمة الحقيقية بدرجة كبيرة .

#### مقاس الكمية الفيزيائية :

مقاس الكمية الفيزيائية هو عدد مرات احتواء هذه الكمية لكمية أخرى من ذات النوع تسمى وحدة القياس .

#### مثال :

إذا كان طول منتج معين يناظر ثلاثة أمثال مسطرة طولها متر فإنه يقال إن طول المنتج ٣ م .

#### التدريج :

هو مجموعة الخطوط أو أية علامات أخرى تتيح تقدير موضع وسيلة البيان . وإذا كانت هذه العلامات مكونة من أرقام تين مباشرة قيمة الكمية المقيسة فيوصف التدريج بأنه تدريج رقمي .

#### طول قسم التدريج :

هو طول الخط المستقيم أو المنحني المقيس على طول أساس التدريج والمحصور بين محوري علامتين أو خطين متتاليين .

#### قيمة قسم التدريج :

تعرف قيمة قسم التدريج بالنسبة لجهاز القياس الذي يشتمل على تدريج بأنها التغير في

قيمة الكمية المقيسة المناظرة لطول قسم التدرج ، وبالنسبة لجهاز قياس ذى بيان عددى تكون قيمة قسم التدرج هى الفرق بين يائين متالين .

مثال :

بصفة عامة تكون قيمة قسم التدرج فى الموازين نصف الأوتوماتية المستخدمة فى المحلات التجارية هى ٥ جم . وقيمة قسم التدرج هى دقيقة واحدة فى ساعة ذات بيان عددى تين الوقت بالساعات والدقائق فى صورة أعداد صحيحة متعاقبة تظهر على العوالى من نافذة .

مدى التدرج واتساع التدرج :

يكون المدى من أقل قيمة بالتدرج إلى أكبر قيمة عليه . أما اتساع التدرج فهو الفرق بين أكبر قيمة بالتدرج وأصغر قيمة به .

مثال :

إذا كان لدينا ترمومتر متغاير يقيس درجات الحرارة من صفر إلى ١٠٠ م .

فإن اتساع تدرجه  $100 - 0 = 100$  م

أما مداه فهو من صفر إلى ١٠٠ م

وإذا كان الترمومتر يقيس درجات الحرارة من ١٠ إلى ٥٠ م

فإن اتساع تدرجه  $50 - 10 = 40$  م

ومدى تدرجه هو من ١٠ م إلى ٥٠ م

خطأ القياس :

هو الفرق العددى بين القيمة التى يبينها الجهاز (أو القيمة المقيسة) والقيمة الحقيقية .

## : الدقة :

دقة القياس لجهاز أو مقياس هي درجة أو مدى اقتراب القراءة الناتجة منه من القيمة الحقيقية للكمية المقاسة أو من قيمة الأمام المستخدم ، وتعبّر دقة القياس عن درجة الخطأ في النتيجة النهائية.

وإحدى طرق التعبير عن الدقة تكون بالنص على أن جهاز القياس دقيق لأقرب مقدار معين (بالزيادة أو النقص) أو  $\pm$  نسبة مئوية معينة عند نقطة معينة على التدرج أو فيما بين نقاط محددة على التدرج .

## مثال :

يمكن وصف ترمومتر بأن خطأه لا يتعدى  $\pm 0,5^\circ \text{م}$  فيما بين  $100^\circ \text{م}$  ،  $200^\circ \text{م}$  . ويوضح المثال العددي الثاني تعريف الدقة .

- ترمومتر يعطى قراءة مقدارها  $48^\circ \text{م}$  عند وضعه في حمام ماء درجة حرارته  $50^\circ \text{م}$  ، ويعطى قراءة مقدارها  $98^\circ \text{م}$  عند وضعه في حمام ماء درجة حرارته  $100^\circ \text{م}$  . احسب الخطأ النسبي أو اللادقة عند كل من النقطتين  $48^\circ \text{م}$  ،  $98^\circ \text{م}$  .

$$\text{الخطأ النسبي عند النقطة الأولى} = \frac{48 - 50}{50} = 0,04 \text{ أو } 4\%$$

$$\text{الخطأ النسبي عند النقطة الثانية} = \frac{98 - 100}{100} = 0,02 \text{ أو } 2\%$$

## الشكل رقم (٤)

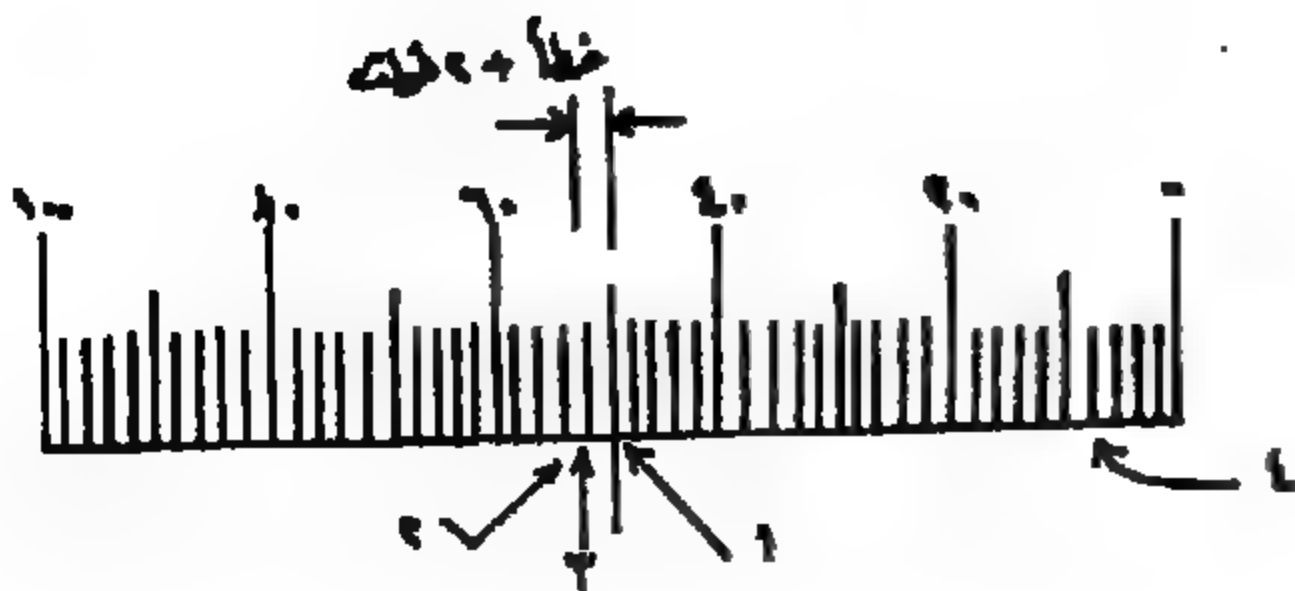
الخطأ في قراءات الجهاز .

(١) قيمة حقيقية  $50$  قوت .

(٢) قيمة مقاسة  $52$  قوت .

(٣) موضع مؤشر الجهاز .

(٤) تدرج منظم .





### الضباطة :

هى درجة اتفاق فئة أو مجموعة من القياسات فيما بينها .  
وتجدر الإشارة إلى أنه تكون هناك حاجة للدقة فى القياس فى حالات كثيرة ، وفى حالات أخرى تكون الحاجة للضباطة ، فعلى سبيل المثال فى إجراء قياسات البلانيتر فإن اهتمامنا الرئيسى ينحصر عادة فى مقارنة المساحات بالنسبة لبعضها ، ولا يهم أن تكون وحدة المساحة الستيمتر المربع أو البوصة المربعة ، ولذلك تكون الحاجة فقط إلى ضباطة القياسات ، إذ أن المطلوب أن تتفق القياسات فيما بينها . ولكن إذا استخدم البلانيتر للحصول على مساحات أراض من صور فوتوغرافية فإن حاجتنا تكون أكثر إلى دقة القياسات ، وهكذا فإن المتطلبات هى التى تحدد نوع الخاصية (الدقة أو الضباطة) المناسبة .

وكمثال آخر لتوضيح الفرق بين الدقة والضباطة نذكر ما يلى :  
إذا أردنا تجهيز قطعة خشب لتكون رقاً فى دولاب فإنه لا يهمنا إذا كان المتر أو المسطرة المستخدمة فى تحديد مقاس الرف دقيقة أم غير دقيقة ما دمنا سوف نستخدم نفس المسطرة فى قياس بعد الدولاب الذى ستركب عليه قطعة الخشب وكذلك قياس قطعة الخشب ذاتها . ولكن الأمر يختلف إذا أردنا أن نطلب من مستودع للخشب تجهيز القطعة المطلوبة ، إذ أنه فى هذه الحالة لابد أن تتوفر لنا درجة ثقة معقولة بأن وسيلة القياس المستخدمة بالمستودع تتفق مع دقتها مع مسطرتنا التى استخدمناها فى قياس الرف .

وبصفة عامة فإنه عندما نقوم بتجميع منتج مركب من مكونات أو أجزاء مصنعة فى عدد من الشركات أو المصانع فإن الدقة فى أجهزة القياس المستخدمة فى تصنيع المفردات تكون لازمة لكى تتوافق أجزاء المنتج . وإذا كانت التفاوتات المسموح بها فى أبعاد الأجزاء ضيقة فإنه يفضل صناعتها جميعاً فى مصنع واحد حيث يمكن تحقيق المطلوب بواسطة توفر ضباطة القياس .

### الحساسية والقابلية للقراءة :

يحدث كثير من اللبس بين مفهومي الحساسية والقابلية للقراءة ومفهومي الدقة والضبط ، فالحساسية والقابلية للقراءة تتعلقان بالأجهزة ذاتها بينما تتعلق الدقة والضبط بالقياس . والجهاز الأكثر حساسية أو الأكبر قابلية للقراءة ليس بالضرورة هو الجهاز الذي يعطى نتائج مضبوطة أو دقيقة للغاية .

وتعرف الحساسية بأنها قدرة الجهاز أو وسيلة القياس على كشف الفروق الصغيرة في الكمية المقاسة ويمكن التعبير عن الحساسية (ح) بالمعادلة التالية :

$$ح = \frac{ف}{ك}$$

حيث ف إزاحة صغيرة للمؤشر ، ك التغير في الكمية المقاسة المسبب للإزاحة ف .  
وتعتبر الحساسية إحدى الخصائص الهامة لجهاز القياس وهي تعتمد على التصميم .  
وتعرف القابلية للقراءة بأنها قابلية بيانات جهاز القياس للتحويل إلى رقم ذي معنى ، فمثلاً الورنية في ميكرومتر القياس تجعل بياناته أكثر قابلية للقراءة ، وأيضاً فإن الخطوط الدقيقة المتجاورة على مسطرة مدرجة تجعل تدرجها أكثر قابلية للقراءة في حالة استخدام مجهر ولكنها في الوقت ذاته قد تفسد قابليتها للقراءة بالنسبة للعين المجردة .

### إمام القياس :

جهاز علمي يقع في القمة من حيث الدقة ، ويسمى إماماً دولياً إذا كان ضمن أئمة القياس المحفوظة في المكتب الدولي للأوزان والمقاييس بسيفر (إحدى ضواحي باريس) ويسمى إماماً وطنياً إذا كان محفوظاً في معمل قومي قريائي أو ما يناظره بإحدى الدول .  
ويعاير الإمام الوطني على الإمام الدولي .

### مربط القياس :

هو جهاز يلى إمام القياس من حيث الدقة ويتم استخدامه في ضبط ومعايرة مرجع

القياس الذى يستخدم فى المصنع أو الشركة . ويحفظ المربط فى المعمل القومى الفيزيائى للدولة عادة ويستخدم فى معايرة مراجع القياس .

#### مرجع القياس :

جهاز أو معدة أو أداة قياس تعاير عليها القُدود الإمامية الخاصة بالشركات والمصانع .

#### قد إمامى :

جهاز أو أداة قياس تستعمل فى المصنع لمعايرة قدود التفتيش والقياس .

#### قد التفتيش :

جهاز أو أداة قياس يستعمل فى القياسات النهائية للتفتيش على المنتجات المصنعة .

#### قد العمل :

جهاز أو أداة قياس مستخدم فى القياسات الخاصة بالمنتجات أثناء التصنيع .

## الباب الثالث

### قياس درجة الحرارة

وبما يمكن القول إن درجة الحرارة هي أكثر المتغيرات التي يتم قياسها والتحكم فيها في الصناعة ، وتوجد صناعات كثيرة تحتل فيها قياسات درجة الحرارة مكانة حساسة . ففي صناعة الصلب على سبيل المثال فإن درجة الحرارة التي يسخن إليها الصلب السائل في فرن الجحمة المكشوفة ( طريقة سيمتر مارتن ) تؤثر على المنتج النهائي من عدة وجوه ، فالأوكسجين وهو أحد المركبات المؤثرة في الصلب تزداد قابليته للذوبان في المعدن بشدة مع ارتفاع درجة الحرارة ، وأيضاً فإن معدل التفاعلات الكيميائية في الصلب السائل ذاته وفيما بين الصلب السائل والخبث تزداد زيادة مطردة مع ازدياد درجة الحرارة . كما أن فصل المكونات الضئيلة عند التجميد والبناء البلوري للصلب الجامد وطبيعة سطح العينة تتأثر بدرجة حرارة السائل في الفرن .

وبصفة عامة تزيد سرعة معظم التفاعلات الكيميائية بازدياد درجة الحرارة . وينطبق ذلك بصفة خاصة على التفاعلات العضوية حيث يزداد معدل هذه التفاعلات بحوالى ثلاثة أمثال عندما ترتفع درجة الحرارة بمقدار ١٠م فقط . وأيضاً فإن العمليات الحيوية لا تتم إلا في نطاق ضيق من درجات الحرارة يقع حول ٤٠ درجة مئوية .

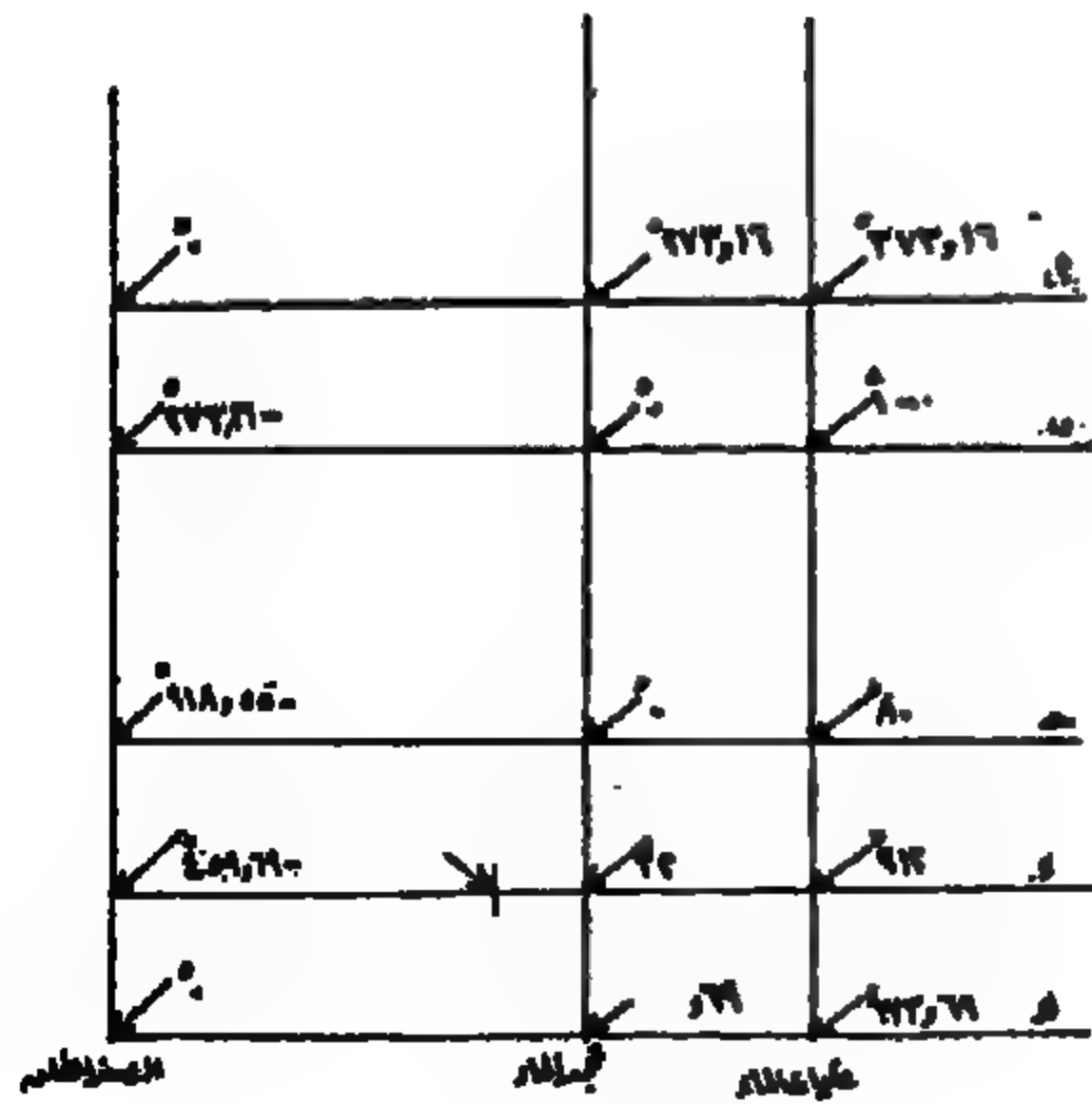
#### ١/٣ أسس قياس درجة الحرارة :

تقاس درجة الحرارة باستغلال أحد التأثيرات التي يحدثها تغير درجة الحرارة في المواد وهي :

- (١) تغير أبعاد المادة « التمدد أو الانكماش »
- (٢) تغير الحالة الفيزيائية للمواد كإصهار المواد الصلبة أو تجمد السوائل ، وتغير ضغط الغازات والسوائل .
- (٣) تغير الجهد أو المقاومة في الدوائر الكهربائية .
- (٤) تغير ألوان بعض المواد كالطلاءات نتيجة لتغير الحالة الكيميائية لها .
- (٥) تغير في القدرة الإشعاعية .

### ٢/٣ مقاييس درجة الحرارة :

يوجد عدد من مقاييس درجة الحرارة ، غير أن أكثرها شيوعاً المقياس المئوي أو مقياس « سلسيوس » الذي تم الحصول عليه باعتبار نقطة الغليان للماء ١٠٠ ، ونقطة تجمد الماء صفرًا ، والمسافة بينها مقسمة إلى مائة قسم كل منها يساوي درجة مئوية واحدة . وقد تم تحديد نقطة الصفر المطلق (وهي درجة الحرارة التي لا يكون للغاز الكامل عندها أي ضغط على الوعاء المحتوي له) فوجد أنها تساوي - ٢٧٣,١٦ م° ولذلك فقد استعمل مقياس مطلق ، صفره يساوي - ٢٧٣,١٦ م° ، ودرجته تساوي



شكل رقم (٥)

(خمسة مقاييس لدرجات الحرارة) .

(أ) كلفن (ك) .

(ب) سلسيوس أو مئوي (م) .

(ج) رومير (ر) .

(د) فهرنهايت (ف) .

(هـ) رانكن (ر) .

١م ، ونقطة الثلج تناظر ٢٧٣,١٦م على هذا المقياس ونقطة (البخار) تناظر ٣٧٣,١٦م. ويطلق على هذا المقياس اسم مقياس كلفن نسبة إلى العلامة اللورد «كلفن» .

ويوضح الشكل رقم (٥) خمسة مقاييس لدرجة الحرارة هي المقياس المئوي ، المقياس الفهرنهايتي ، ومقياس كلفن ، ومقياس رومير ، ومقياس رانكن وقيمة ثلاث نقط على كل منها .

### ٣/٣ أجهزة قياس درجة الحرارة :

توجد أجهزة كثيرة لقياس درجة الحرارة ، ويمكن تصنيف هذه الأجهزة تبعاً لطبيعة التغير الذي يحدث في الجسم المختبر نتيجة لتغير درجة حرارته ، إلى التالي :

١/٣/٣ ترمومترات التمدد وتشمل مقاييس درجة الحرارة بدلالة تمدد جسم صلب (ترمومترات ثنائية المعدن ، الترموستات) أو تمدد سائل (ترمومترات سائل في زجاج ، ترمومترات سائل في معدن) أو تمدد غاز (ترمومترات الغاز) .

٢/٣/٣ ترمومترات تغير الحالة (ترمومترات ضغط البخار) .

٣/٣/٣ الطرق الكهربائية لقياس درجة الحرارة (ترموتر المقاومة الكهربائية ، الترمستور ، المزدوجات الحرارية) .

٤/٣/٣ ترمومترات الإشعاع الكامل والبيرومترات البصرية .

٤/٣ ترمومترات التمدد :

١/٤/٣ تمدد الأجسام الصلبة :

١/١/٤/٣ الترمومترات ثنائية المعدن :

تستخدم الترمومترات ثنائية المعدن بكثرة في قياس درجات الحرارة في كثير من التطبيقات الصناعية . وأساس عمل هذه الترمومترات أن المعادن تتمدد أو تنكمش بتغير درجة الحرارة وأن معامل تمددها ليس واحداً ، وإنما يختلف من معدن لآخر . وهذا



الاختلاف تتم الإفادة منه في الحصول على انحرافات تتناسب مع تغير درجة الحرارة ، وذلك عن طريق لحام شريحتين من معدنين مختلفين ، مثل الأنفار والنحاس الأصفر ، بحيث يكونان كابولاً على شكل حلزون أولولب وعندما تتغير درجة الحرارة فإنهما ينحنيان تجاه المعدن ذي التمدد الأقل ، ويتناسب هذا الانحناء عكسياً مع سمك المعدن ، وطردياً مع كل من ثابت الانحناء (الذى يعتمد على نوعى المعدنين المستخدمين) ، والتغير في درجة الحرارة ومربع طول الشريحتين ١.

ويفضل استخدام مادة الأنفار في صنع الشريحة ذات معامل التمدد الحرارى الصغير ، وذلك لأن الأنفار مادة مستقرة في مدى واسع من درجات الحرارة . وتستعمل سبائك الحديد/النيكل المضاف إليها قليل من الكروم أو المنجنيز ، لصنع شريحة ذات معامل تمدد حرارى كبير. وتزود بعض الترمومترات ثنائية المعدن بسيقان ذات أطوال مختلفة تناسب أعماق الغمر المختلفة ويكون قرصها المدرج ذا قطر يتراوح بين ١٢,٥ سم من نوع ثابت أوقابل للضغط . ومدى هذه الترمومترات من - ١٢٠ إلى ٥٤٠ م ويوصى باستخدام هذه الترمومترات لقياس درجات حرارة تقل عن ٣٠٠ م إذا كانت تعرض لفترة طويلة ، ويمكن تغير مدى القياس باستعمال مواد مختلفة أو بتغيير طول العنصر الحساس ، ويكون العنصر الحساس قصيراً إذا أريد الحصول على مدى واسع من درجات الحرارة. وتحدد حساسية الترمومتر بالخصائص الفيزيائية للحلزون وأبعاده ، أما دقته فهي تعتمد على التصميم ، وظروف الوسط الذى تتم فيه القياسات ، والغمر المناسب للساق ودقة المعايرة للترموتر بالإضافة إلى استقرار العنصر الحساس وكفاءة مستخدم الترمومتر.

ويتوقف زمن استجابة الترمومترات ثنائية المعدن على ظروف الاستخدام . فهو يكون في حدود ثلاث ثوان بالنسبة للترمومترات عالية الجودة الموضوعة في حمام جيد التقليب ويمكن للصانع التحكم في استجابة الترمومتر بتغيير حجم العنصر الحساس ، وباختيار مادة ناقلية للحرارة مناسبة للاستعمال بين العنصر الحساس وغلاف الترمومتر.

### ملاحظات حول استخدام الترمومتر ثنائى المعدن :

١ - يراعى غمر ساق الترمومتر بحيث يصل العنصر الحساس له إلى الوسط الذى تقاس درجة حرارته ، ويجب تقليل انتقال الحرارة إلى الجزء غير المغمور من الساق بقدر الإمكان حتى لا يؤدي ذلك إلى خطأ فى قراءات الترمومتر ، ويتوقف عمق الغمر المناسب على كل من مادة الساق ، وطول العنصر الحساس ، ودرجة حرارة وظروف الوسط المحيط . وبعض الترمومترات من هذا النوع مصممة لتناسب الاستخدام فى ظروف الاهتزاز والصدمات ، فمنها ، على سبيل المثال ، ما يصلح للعمل تحت اهتزازات تزيد على ١٠٠ هرتز ( أى تهتز بتردد يزيد على ١٠٠ دورة فى الثانية الواحدة ) وعجلة تصل إلى ٩٨ م/ث<sup>٢</sup> ( عشرة أمثال عجلة جاذبية الأرض ) ولكن غالبية الأنواع الأخرى من الترمومترات ثنائية المعدن تتأثر بالصدمات والاهتزازات الشديدة التى قد تشوه العنصر الحساس مؤدية بذلك إلى خطأ فيما تعطيه من قراءات . وفى بعض الحالات قد لا يتأثر الاستقرار الحرارى للعنصر ، ذلك إذا لم يكن التشوه الناتج قد أدى إلى حدوث احتكاك فى أجزائه .

- ٢ - يراعى دائماً قبل استعمال الترمومتر اختيار المكان الذى تولج فيه بصيلة الترمومتر بحيث يتعرض الترمومتر إلى أقل حد ممكن من الصدمات والاهتزازات .
- ٣ - إذا لم يتحرك مؤشر الترمومتر بحرية ولوحظ أنه يقفز من نقطة إلى أخرى عندما تتغير درجة الحرارة يوقف استعماله ولا يعول على قراءاته .
- ٤ - يجب دائماً الطرق بخفة على الترمومتر قبل أخذ قراءته .
- ٥ - يراعى إدخال التصحيحات المناسبة على القراءات المأخوذة ويتم ذلك باستعمال قيم التصحيحات من منحنى المعايرة الخاص به . ولا تطبق تصحيحات نقطة التجمد والنقط الأخرى المفردة على جميع النقط الأخرى على تدریجه .

### مزايا وعيوب الترمومتر ثنائى المعدن :

يتميز الترمومتر ثنائى المعدن بأنه خفيف الوزن ، وقليل التكاليف ، وسهل القراءة والضبط . ولا يحتاج عنصريه الحساس إلى سوائل أو غازات ، ووصلاته قصيرة ، ولا يحتاج إلا إلى قليل من أعمال الصيانة . ويعيب هذا الترمومتر أنه يتلف بالصدمات والاهتزاز تلقاً مستتراً لا يستطيع مستخدمه كشفه بسهولة ، وأيضاً فإن قراءته تصبح صعبة في حالة اهتزاز مؤشره بشدة .

### ٣ / ٤ / ١ / ٢ الثرموستات :

الثرموستات عبارة عن وسيلة للتحكم في درجة الحرارة وهو يعمل طبقاً لنفس مبدأ عمل الترمومترات ثنائية المعدن . ويتكون الجزء الحساس لدرجة الحرارة في الثرموستات من قضيب من الأنفار ، داخل أنبوبة من النحاس الأصفر والطرف السفلى لقضيب الأنفار ملحوم جيداً بأنبوبة النحاس ، وعندما ترتفع درجة حرارة القضيب والأنبوبة فإن الأنبوبة النحاسية تتمدد أكثر من قضيب الأنفار (معامل التمدد للنحاس يساوى  $19 \times 10^{-6}$  وللأنفار  $1,5 \times 10^{-6}$ ) ، فيتغير وضع الطرف الحر للقضيب بالنسبة لطرف الأنبوبة ، ويستعمل هذا التغير في الوضع النسبي للطرفين المشار إليهما ، لتشغيل مفتاح حساس ذى فرجة صغيرة . ويعتمد التغير في درجة الحرارة اللازم لتغيير وضع المفتاح من حالة الوصل إلى الفصل على طول الساق المكونة من القضيب والأنبوبة ، وكلما زاد هذا الطول كان التغير في درجة الحرارة المطلوب صغيراً . ويمكن ضبط جزء المفتاح المرتبط بقضيب الأنفار بواسطة زر صغير بحيث تقطع الكهرباء الداخلة للمسخن عندما تبلغ درجة حرارة الثرموستات قيمة معينة محددة سلفاً .

وعندما يكون التيار اللازم لتشغيل مسخن كهربائى أكبر من ٢٠ أمبيراً عند جهد متردد قيمته ٢٥٠ فولتاً فإن مفتاح الثرموستات يستعمل عادة لتشغيل مرحل يقوم بالتالى بتشغيل المسخن ، ويمكن بهذه الطريقة التحكم في أحمال تسخين كبيرة دون إتلاف ملامسات مفتاح الثرموستات .

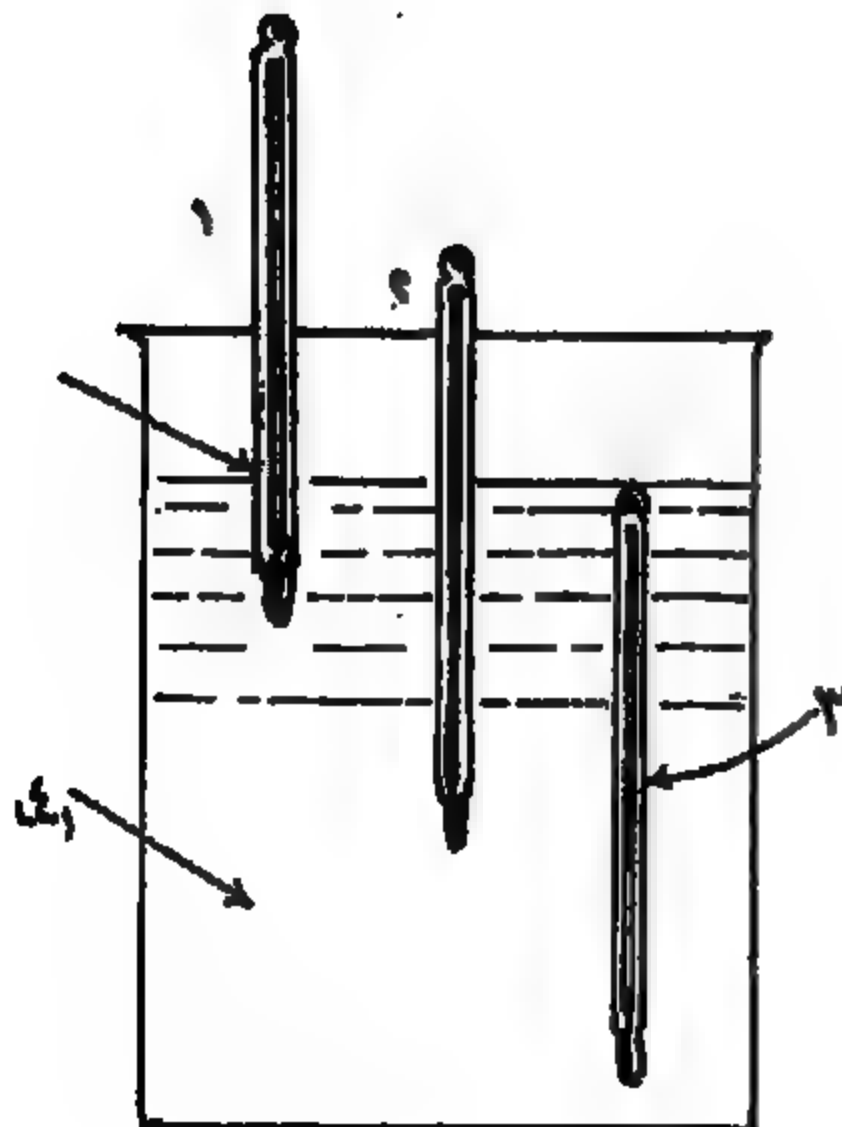
٣ / ٤ / ٢ تعدد السوائل :

٣ / ٤ / ٢ / ١ الترمومترات الزجاجية :

يتكون الترمومتر الزجاجي من بصيلة زجاجية ذات جدار رقيق ، متصل بساق على هيئة أنبوبة شعرية مغلقة عند طرفها الآخر ، وتملأ البصيلة وجزء من الساق بسائل ، ويملأ باقي الساق ببخار السائل ذاته أو بمزيج من بخار السائل وغاز خامل . ويوجد على الساق أحواله تدريج من درجات الحرارة ، ويعطى طرف عمود السائل عند قراءته على هذا التدريج قيمة درجة حرارة البصيلة . وتغطي هذه الترمومترات مدى درجات الحرارة ما بين - ١١٠ م ، ١٢٠ م .

وتنقسم الترمومترات الزجاجية إلى ثلاثة أقسام هي :

(١) ترمومترات الغمر الجزئي (شكل رقم ٦) وهي الترمومترات المصممة بحيث تعطي درجات الحرارة الصحيحة عندما تعرض بصيلائها وجزء محدد من عمود السائل بها لدرجة الحرارة المطلوب قياسها ، وفي الوقت ذاته يكون الجزء الباقي من عمود السائل والغاز الموجود فوقه معرضين لدرجة حرارة مساوية لدرجة الحرارة المقيسة أو مختلفة عنها .



الشكل رقم (٦)

- (١) ترمومتر غمر جزئي .
- (٢) ترمومتر غمر كلي .
- (٣) ترمومتر تام الغمر .
- (٤) سائل .

(٢) ترمومترات الغمر الكلى (شكل رقم ٦) وهى ترمومترات تعطى درجة الحرارة الصحيحة عندما تكون بصيلة الترمومتر وعمود السائل به معرضين جميعاً لدرجة الحرارة المطلوب قياسها .

(٣) ترمومترات تامة الغمر : هى ترمومترات تعطى درجة الحرارة الصحيحة عند تعريضها بجميع أجزائها لدرجة الحرارة المطلوب قياسها (شكل ٦) .

#### أساس عمل الترمومترات الزجاجية :

تعتمد الترمومترات الزجاجية فى عملها على خاصية تمدد الأجسام بالحرارة وانكماشها بالبرودة ، ونظراً لأن معامل تمدد السوائل أكبر من تمدد البصيلة ، فإن أية زيادة فى درجة حرارة بصيلة الترمومتر تؤدي إلى دفع بعض السائل من البصيلة إلى الأنبوبة الشعرية فيحدث تغير ملحوظ فى وضع طرف عمود السائل بها . وتشكل ساق الترمومتر عادة بحيث تعمل كعدسة مكبرة بعرض عمود السائل .

#### أنواع الترمومترات الزجاجية :

يمكن تصنيف الترمومترات الزجاجية إلى أربعة أصناف رئيسية كالتالى :

##### (١) الترمومترات العملية :

هى ترمومترات يكون التدرج محفوراً على سيقانها مباشرة ، وتوضح خطوط التدرج وعلاماته بواسطة مادة ملونة تلتصق بالسطح المحفور .

##### (٢) الترمومترات الصناعية :

وهى ترمومترات تستخدم فى الأغراض الصناعية المختلفة . وفى هذا النوع من الترمومترات تكون البصيلة وجزء من الساق داخل أنبوبة معدنية ، ويكون التدرج

محفوراً أو منقوشاً على لوحة معدنية مثبتة داخل غلاف معدني من فتحة من الزجاج  
يمكن رؤية التدريج وقراءته من خلالها . والترمومترات الصناعية تختلف من حيث الطول  
ونوع الغلاف ، وبعضها تكون فيه البصيلة ليست على امتداد الأنبوبة الشعرية ولكنها  
تكون معها زاوية مقدارها ٩٠° أو ١٨٠° ، أو أية قيمة أخرى ، بحيث تناسب التطبيقات  
الصناعية المختلفة .

### (٣) الترمومترات ذات الأنبوبة والتدريج :

بعض الترمومترات تكون ذات تدريج منقوش على قطعة من الورق العادي أو المقوى  
أو الزجاج الذي يربط بطريقة مناسبة إلى الساق ويكون هذا التدريج داخل غلاف  
زجاجي لصيانته . وأفضل ترمومترات هذا النوع هي التي لا تكون بصيلائها داخل  
غلاف .

ويوجد نوع خاص من هذه الترمومترات يعرف باسم ترمومتر بكمان الفرق ، وهو يصنع  
عادة بمدى قصير ٥ م مثلاً . ويكون تدريجه مقسماً إلى ٠,١ م . ويمكن تغيير مداه طبقاً  
لرغبة مستخدمه بواسطة تغيير كمية الزئبق في البصيلة ، ويوجد ترمومتر بكمان خزان  
علوي يحتوي على الزئبق الزائد . ويستعمل ترمومتر بكمان كثيراً في القياسات الحرارية  
وبخاصة في طريقة الكبسولة للوقود . وبالإضافة إلى ترمومتر بكمان توجد أشكال مختلفة  
من الترمومترات ذات الأنبوبة والتدريج ، فمنها مثلاً ترمومترات يكون فيها التدريج  
مطبوعاً على خلفية من الخشب أو المعدن أو البلاستيك تثبت فيها الأنبوبة ويستعمل هذا  
النوع لقياس درجات حرارة الهواء في داخل المباني أوفى الخلاء .

### (٤) الترمومترات المسجلة :

شملت جميع الأنواع الثلاثة السابقة ترمومترات تتطلب قيام شخص بقراءتها عند  
تعريضها لدرجة الحرارة المقيسة ولكن توجد ترمومترات تستعمل في قياس درجات



حرارة الوسط (المطلوب قياس درجة حرارته) في الحالات التي لا يمكن رصد قراءاتها وهي معرضة لدرجة الحرارة المقيسة ، ولكن يتم قراءتها بعد إخراجها من هذا الوسط . وتعرف هذه الترمومترات باسم الترمومترات المسجلة .

وبعض هذه الترمومترات يعطى درجة الحرارة القصوى التي تعرضت لها ، ويتكون السائل فيها من سبيكة زئبق - ثاليوم والحيز الذي يقع أعلاها مفرغ ، ويوجد أعلى بصيلتها اختناق يسمح للسائل بالمرور إلى الساق ، والارتفاع فيه تبعاً لدرجات الحرارة التي تعرض لها البصيلة ، ولكن هذا الاختناق يمنع السائل من العودة إلى البصيلة ، إلا إذا تم هزه بشدة . وتشمل الترمومترات المسجلة ترمومترات تسجل أدنى درجة حرارة تعرض لها وهي تكون في العادة مملوءة بالكحول وتستخدم وهي موضوعة أفقياً ويحتوى الترمومتر مؤشراً مغموراً في السائل ويحمل هذا المؤشر باتجاه البصيلة بالقوى السطحية في نهاية عمود السائل عندما تهبط درجة الحرارة ، ولكنه يظل في مكانه عندما ترتفع درجة الحرارة ، ولإعادة استخدام الترمومتر يعاد المؤشر إلى وضعه بإمالة البصيلة قليلاً إلى أعلى ، وأخيراً فإنه يوجد قسم من الترمومترات المسجلة يجمع بين النوعين المسجلين السابقين فيعطى أقصى وأدنى درجة ويعرف باسم ترمومتر «سكس» وهو على شكل حرف U وله مؤشران أحدهما لأقصى درجة حرارة والآخر لأدنى درجة حرارة .

### مواد صنع الترمومترات الزجاجية :

الزجاج : تختار المواد التي تصنع منها الترمومترات بحيث تعطى أفضل خصائص في الأداء ، ويراعى أن تكون مادة البصيلة متوافقة مع مادة الساق بحيث يمكن وصلها معاً بوصلة قوية ، ويجب ألا تطرى مادتاها ، ولا تكون زائدة الهشاشة في مدى درجات الحرارة الخاص بالترمومتر . ويجب أن يكون تكوين البصيلة بصفة خاصة بحيث تصل إلى الاستقرار البعدى بالمعالجة الحرارية أما المادة التي يصنع منها ساق الترمومتر فيجب أن تكون طيبة قابلة للسحب حتى يمكن تحويلها إلى أنبوبة شعرية مع المحافظة على

انتظام مقطوعها بدرجة كبيرة .

ويتوقف مدى الترمومتر الزجاجي على نوع الزجاج والسائل ، ويوضح الجدول رقم (١) الحد الأعلى الآمن لعدد من أنواع الزجاج المستخدمة في صناعة الترمومترات .  
السوائل : يجب أن تكون السوائل عالية النقاوة لضمان ثبات تمددها . وفي الحالة المثالية لا يبلل السائل جدران الأنبوبة ويتصف الزئبق وسبائكها مع الثاليوم بهذه الصفة .

### الجدول رقم (١)

الحد الأعلى لدرجات الحرارة لأنواع الزجاج المستخدم في الترمومترات

الحد الأعلى لدرجة الحرارة		المادة
عند التعرض المستمر	عند التعرض المتقطع	
درجة مئوية	درجة مئوية	
٣٧٠	٤٣٠	زجاج كورننج ٧٥٦٠
٣٦٠	٤٢٠	زجاج كمبل
٣٦٥	٤٢٥	بيننا ١٦ - ٣
٤٠٠	٤٦٠	كورننج بوروسيليكات ٨٨٠٠
٤٢٠	٤٨٠	بينو بوروسيليكات ٢٩٥٤
٥٤٠	٦٠٠	كورننج ١٧٢٠
٥٣٥	٥٩٥	بيننا سوبر ماكس ٢٩٥٥

وإذا استخدم سائل عضوى فيجب اختيار السائل بحيث يبلل الجدران بانتظام وبأقل قدر ممكن من إمساك الأغشية عندما تنزل درجة الحرارة ، ويجب أن تكون السوائل مستقرة كيميائياً بحيث يسهل تلوينها بالصبغات الخفيفة الثابتة . ويوضح الجدول رقم (٢) مدى درجات حرارة التشغيل للسوائل شائعة الاستخدام :

### الجدول رقم (٢)

مدى درجات حرارة التشغيل للسوائل شائعة الاستخدام

المادة	المدى (°م)
زئبق	- ٣٩ إلى ٦٢٠
زئبق / ثاليوم	- ٤٨ إلى ١٢١
سوائل عضوية	- ٢٠٠ إلى ٢٣٢

### الغازات :

عند استعمال غاز فوق السائل فإنه يجب أن يكون خاملاً بالنسبة لهذا السائل فلا يتفاعل معه . والنيتروجين وثنائي أكسيد الكربون غازان شائعاً لاستخدام لهذا الغرض . وعادة يستعمل الهيدروجين مع سبائك الزئبق - الثاليوم . ويعتبر الهواء غازاً خاملاً بدرجة كافية بالنسبة للسوائل العضوية ويجب أن يكون ضغط الغاز عالياً بحيث يكفى لتقليل تبخر السائل إلى أدنى قدر ممكن عند أية درجة حرارة واقعة في مدى استعمال الترمومتر .

### المعادن :

تستخدم معادن مختلفة في صنع البصيلات وأكثر المعادن شيوعاً في الاستخدام

الصلب والصلب الذى لا يصدأ والنحاس ، كما يستخدم النحاس والألومنيوم فى صنع الغلاف ، وتحتوى بصيلة الترمومتر عادة على وسط ناقل للحرارة مثل الزئبق ، وتراب (مسحوق) النحاس والجرافيت والفضة . ويتوقف اختيار أى منها على مدى قياس الترمومتر ونوع مادة البصيلة .

### خصائص الترمومترات :

تعتمد حساسية الترمومترات الزجاجية على مساحة مقطع الأنبوبة الشعرية وعلى النسبة بين هذه المساحة وحجم البصيلة ، أما ضبطة القياسات المأخوذة بواسطة الترمومترات السائلة فإنها تعتمد على تصميمها ، والظروف التى تجرى فيها هذه القياسات بالإضافة إلى العناية المبذولة فى أخذ القراءات . وتعتمد دقة القياسات أيضاً على نفس العوامل التى تؤثر فى الضبطة بالإضافة إلى دقة معايرة الترمومتر . وتكون دقة معايرة الترمومتر بالنسبة للأنواع جيدة التصميم ، دالة لكل من المدى وأصغر قسم بالتدرج .

### الاعتبارات الأساسية عند استعمال الترمومترات الزجاجية السائلة :

يراعى أخذ ما يلى فى الاعتبار عند استعمال ترمومترات زجاجية سائلة لقياس درجة حرارة وسط ما :

( أ ) أن يكون المكان الذى توضع فيه بصيلة الترمومتر بحيث تكون درجة الحرارة فيه ممثلة للمعلومات المطلوبة ، وأن يوضع الترمومتر بالكيفية التى تضمن أنه ( أى الترمومتر ) سوف يأخذ درجة حرارة الوسط . ويتم الانتظار فترة كافية لضمان وصول الترمومتر إلى درجة حرارة الوسط المقيس .

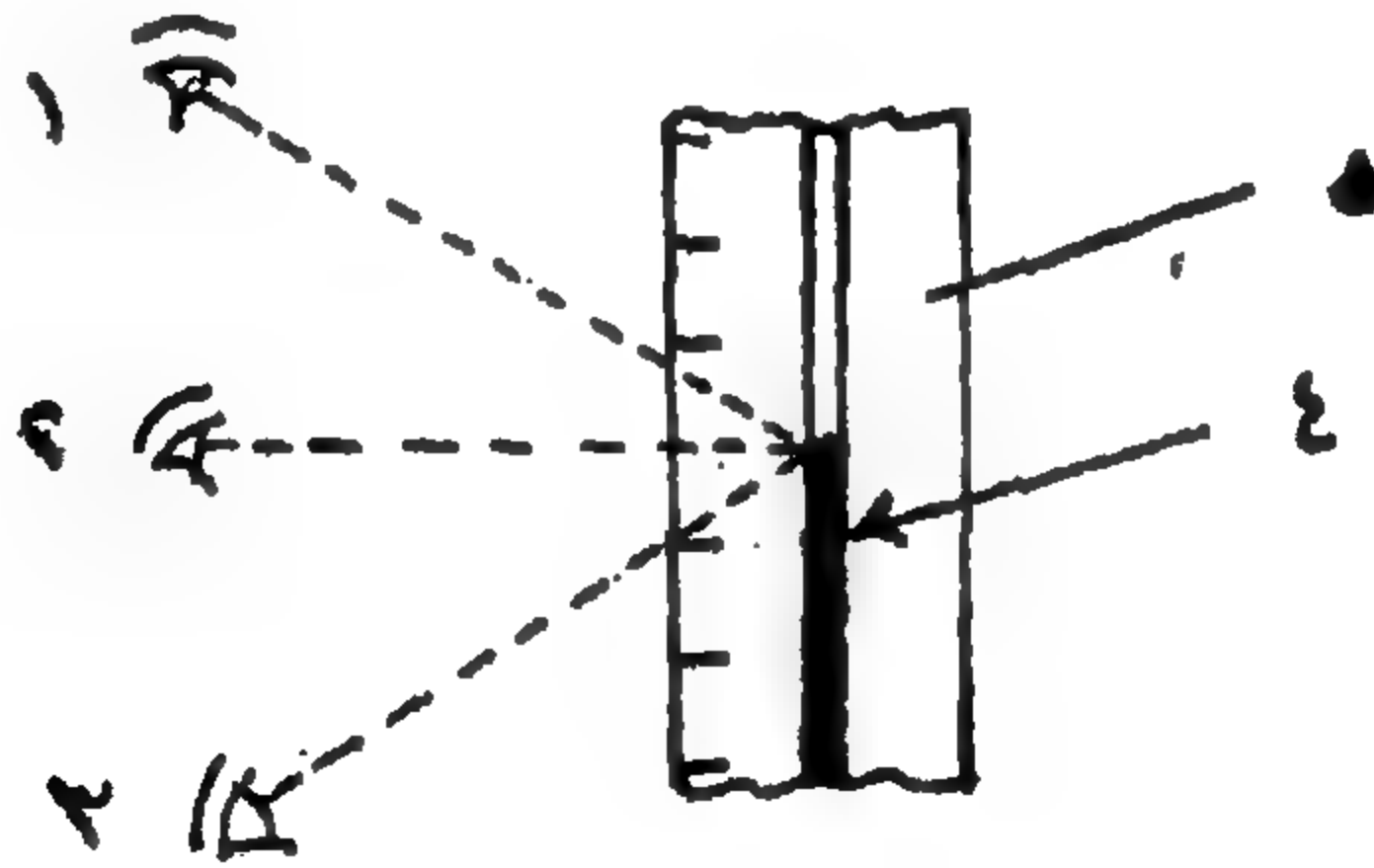
( ب ) يختار الترمومتر المناسب فى ضوء ما يلى :

• المدى وأقل قسم بالتدرج .

- نوع الغمر (كلى أو جزئى أو تام)
- الحساسية ، وزمن استجابة الترمومتر لأى تغير فى درجة الحرارة .
- شكل الترمومتر المطلوب .
- إذا لزم استعمال حبيب فيجب أن تكون نادته وشكله ومقاسه مناسبة .
- يجب أن يكون للترمومتر القدرة على إعطاء النتائج بالدقة المطلوبة وليس أفضل منها كثيراً . ولذلك يجب معايرته من وقت لآخر .
- ( ج ) يركب الترمومتر بطريقة مناسبة وتتخذ القراءات بعناية شديدة مع تجنب ما يلى :

• وجود مصادر الحرارة أو البرودة بالقرب من الترمومتر لدرجة أنها تؤثر على بياناته .

• الوقوع فى خطأ اختلاف موضع الرصد ، ويوضح الشكل رقم (٧) تأثير أخذ قراءة الترمومتر من موضع خاطئ . . فعندما يرصد الترمومتر من الوضع (١) بالشكل رقم



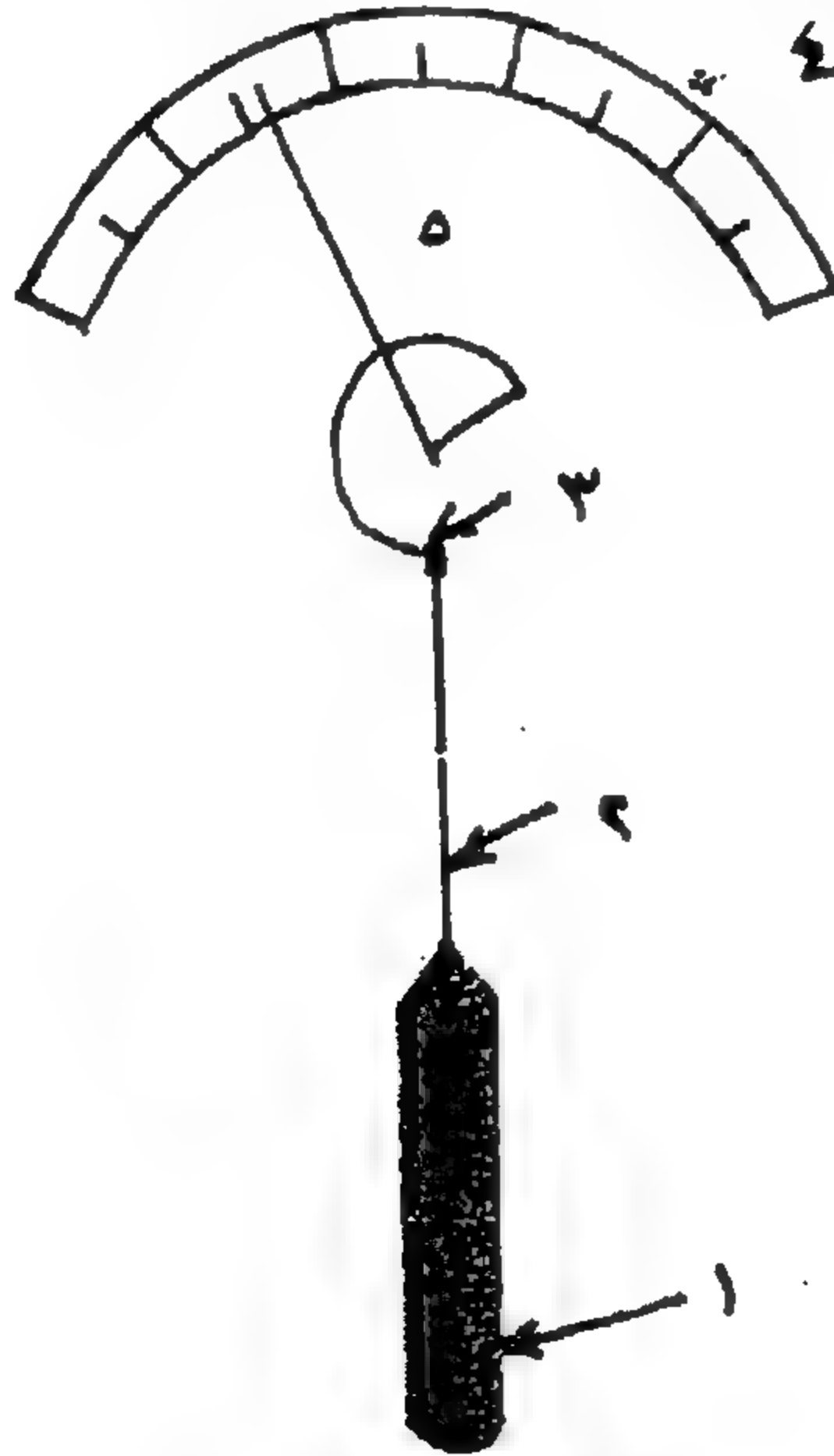
الشكل رقم (٧)

- أخطاء اختلاف الموضع .
- (١) وضع خاطئ يعطى قراءة عالية .
  - (٢) وضع صحيح .
  - (٣) وضع خاطئ يعطى قراءة منخفضة .
  - (٤) زلق .
  - (٥) أنبوبة شعرية .

(٧) تكون القراءة عالية ، وعند الرصد من الوضع (٢) تكون . . القراءة صحيحة ، أما من الوضع (٣) فإن القراءة تكون منخفضة .  
« الإضاءة غير المناسبة .

٢/٢/٤/٣ الترمومترات المعدنية :

(١) ترمومترات الصلب (زئبق في صلب)  
تعمل ترمومترات الصلب على نفس المبدأ الذى تعمل على أساسه الترمومترات



الشكل رقم (٨)

ترموتر زئبق في صلب .

- (١) بصيلة صلب مملوءة بالزئبق .
- (٢) أنبوية شعرية مملوءة بالزئبق .
- (٣) أنبوية «بوردون» مملوءة بالزئبق .
- (٤) تدريج .
- (٥) مؤشر .



الزجاجية ، غير أن البصيلة في ترمومترات الصلب تكون من الصلب وتكون الأنبوبة الشعرية من الصلب الذي لا يصدأ (شكل رقم ٨) ويستعمل الزئبق كمادة ترمومترية ، وبطبيعة الحال فإنه لا يمكن رؤية الزئبق بالأنبوبة الشعرية ، لذلك توصل الأنبوبة الشعرية بأنبوبة بوردون لقياس التغير في الحجم ، وتملأ البصيلة والأنبوبة الشعرية وأنبوبة بوردون جميعاً بالزئبق ، ويكون ذلك في العادة عند ضغط عال ، ويمكن بالتصميم المناسب أن تكون الأنبوبة الشعرية ذات طول كبير بحيث يكون ميين الترمومتر ، المشغل بواسطة أنبوبة بوردون ، واقعاً على بعد مناسب من البصيلة . وفي هذه الحالة يوصف هذا الترمومتر بأنه « ترمومتر للقراءة عن بعد » .

وعندما ترتفع درجة الحرارة يتمدد الزئبق الموجود في البصيلة أكثر من تمدد البصيلة ذاتها فيدفع الزئبق خلال الأنبوبة الشعرية إلى داخل أنبوبة بوردون ، ومع استمرار الزيادة في درجة الحرارة فإن كميات أخرى من الزئبق تدفع إلى أنبوبة بوردون فيقل انحنائها ، وبما أن أحد طرفي أنبوبة بوردون مثبت فإن الطرف الآخر هو الذي يتحرك وتنقل حركته إلى مؤشر أو ذراع مركب في نهايته ريشة . وبما أن القوة المتاحة تكون كبيرة ، فإن أنبوبة بوردون يمكن صناعتها من مادة متينة بحيث تعطى تحكماً جيداً في المؤشر ، وقراءات يعول عليها . وتوجد من هذا النوع من الترمومترات أشكال مختلفة إذ أن أنبوبة بوردون قد تكون كما بالشكل رقم (٨) أو بأشكال مختلفة أخرى . فهي قد تكون مثلاً على هيئة أنبوبة مفلطحة تقريباً وملفوفة على هيئة ملفين يتكون كل منهما من عدة لفات ، والملفان مرتبان بحيث يقع أحدهما خلف الآخر وبحيث يكون الطرف الحر لها في المركز وتكون اللفة الأخيرة مشتركة بينهما . وأحد طرفي الأنبوبة المتصلة (الطرف الداخلي للملف الخلفي) مثبت ، ويتصل بالأنبوبة الشعرية ، والطرف الآخر (الطرف الداخلي للملف الأمامي) مغلق ويتصل بالمؤشر عن طريق ملف آخر صغير ثنائي المعدن يشكل استمراراً لأنبوبة بوردون . وهذا الملف ثنائي المعدن يعرض التغيرات الناتجة بسبب تغير درجة الحرارة في كل من خصائص المرونة لأنبوبة بوردون وفي حجم الزئبق .

وبالإضافة إلى تنوع أشكال أنابيب بوردون فإن البصيلات أيضاً ذات أشكال متنوعة تناسب التطبيقات الصناعية المختلفة . وقد تكون البصيلة عبارة عن أنبوبة طويلة نسبياً وذات مقطع صغير وعلى شكل  $\Omega$  أو ملفوفة على شكل حلزون ، وقد وجد بالتجربة أن الشكل الحلزوني مناسب ومفيد جداً لقياس درجة حرارة الغاز ، ذلك أن مساحة سطحها كبيرة ، وبالتالي تكون أكثر استجابة عن الأشكال الأخرى ذات المساحة السطحية الأقل .

وقد تكون البصيلة أسطوانية الشكل وذات جدار متين . ويعتمد مقاس هذه الأسطوانة على عدة عوامل منها نوع المادة الترمومترية ومدى القياس المطلوب ، غير أنه في جميع الأحوال تم المحافظة على أن تكون نسبة مساحة السطح إلى حجم البصيلة عند أكثر قيمة لها . حتى تقلل التخلف الزمني في استجابة الترمومتر .

وقد تقتضى بعض التطبيقات الصناعية أن توضع بصيلة الترمومتر داخل جيب واق كما يحدث في حالة قياس درجة حرارة سائل ضغطه أكبر من الضغط الجوي ، مما يخشى معه أن تتعرض البصيلة لهذا الضغط . لذلك يستخدم جيب واق يتيح أيضاً إمكانية تغيير البصيلة دون حاجة لإيقاف العملية الصناعية التي يتم قياس درجة حرارة السائل بها . وتختار مادة الجيب الواق بحيث تناسب ظروف الاستخدام ، فمثلاً عندما توجد ظروف مسببة للصدأ ، فإنه يتم اختيار مادة الجيب بحيث تقاوم الصدأ ، وقد يتم بالإضافة إلى ذلك تغطية الجيب بطبقة (من الخارج) لتعطيه حماية أكبر ضد التآكل والصدأ . ويغطى الجيب بغلاف من الرصاص عندما يوجد حمض كبريتيك ، أما في الحالات الأخرى فيمكن تغطية الجيب بالزجاج .

ويترتب على استعمال جيب وقاية أن تقل استجابة الترمومتر لأي تغيير في درجة الحرارة ، ويمكن تقليل تأثير الجيب ، في خفض الاستجابة ، إلى الحد الأدنى بتقليل الخلوص بين البصيلة والجيب إلى أدنى حد ممكن مع ملء هذا الحيز بالزيت أو بالزئبق أو ببودرة أحد المعادن أو الكربون . ولا يستخدم الزئبق إلا في الحالة التي يكون فيها الجيب

والبصيلة من الصلب أوسبيكة لا يحدث إلغام لها بالزئبق ، ويجب مراعاة أن الزيت عند استخدامه لمدد طويلة يتبخر أو يتكسر إلى شمع .

وتوجد طريقة فعالة لزيادة معدل الانتقال الحرارى بين الجيب والبصيلة وهى استخدام كم ألومنيوم (جلبة) مموج يتم إدخاله فيما بين البصيلة والجيب بالإضافة إلى إدخال بصيلة داخل الجيب بدرجة كافية لحفض الأخطاء التى قد تنتج عن الحرارة الموصلة من الجيب إلى الخارج ، وما يتبع ذلك من خفض درجة الحرارة عند البصيلة ، وللسبب نفسه يجب أن يكون الجيب مغموراً غمراً جيداً فى المائع الذى تقاس درجة حرارته .

ويجب مراعاة أنه كلما زاد طول الأنبوبة الشعرية كان تأثير درجة حرارة الوسط المحيط أكبر ، وبالتالي يزداد الخطأ فى قراءات الترمومتر ، لهذا يلزم تعويض التأثيرات التى تنشأ فى الأنبوبة الشعرية نتيجة تغيرات درجة الحرارة المحيطة . ويمكن إجراء هذا التعويض بعدة طرق ، إحداها باستخدام أنبوبة شعرية كبيرة المقطع نسبياً بداخلها سلك من الأنفاز أو أية سبيكة ذات معامل تمدد منخفض بحيث يمكن إهماله على أن يتم وضع السلك بحيث يملأ خمسة أسداس حجم الأنبوبة الشعرية ، وفى هذه الحالة تكون الزيادة فى حجم الزئبق بالأنبوبة الشعرية الذى يملأ سدسها مساوياً بالضبط لزيادة الحجم فى الأنبوبة ذاتها ، أى يعوضه تماماً .

وتوجد ترمومترات من هذا النوع تملأ بالزايلين أو الأكسجين أو الكحول أو الأثير أو مواد عضوية أخرى ، وذلك لأنها تكون أصلح من الزئبق لقياس درجات الحرارة المنخفضة . فالترمومترات من هذا النوع التى تحتوى الزئبق تكون صالحة لقياس درجات الحرارة فى المدى من - ٣٩ إلى ٦٥٠ م بينما الترمومتر المملوء بالكحول مثلاً يصلح لقياس درجات الحرارة فى المدى من - ٤٦ إلى ٦٥٠ م .

### ٣/٤/٣ تمدد الغازات :

#### ٣/٤/٣/١ ترمومترات الغاز :

تعمل ترمومترات الغاز على أساس أنه إذا وضعت كمية من غاز خامل في بصيلة وأنبوبة شعرية وأنبوبة بوردون وظل حجمها ثابتاً ، وكان معظم الغاز في البصيلة . فإن بيان الضغط في أنبوبة « بوردون » يمكن اتخاذه مقياساً لدرجة الحرارة ، نظراً لأنه عند ثبات حجم الغاز فإن الزيادة في الضغط تتناسب مع الزيادة في درجة الحرارة المسببة له .

ويستخدم الترمومتر الغازي لقياس درجات الحرارة في الأعمال التي تتطلب دقة عالية في المختبرات ، وكذلك استجابة سريعة بشرط استخدام طريقة مناسبة لتعويض تأثير درجة الحرارة الوسط على الأنبوبة الشعرية .

### ٣/٥ ترمومترات تغير الحالة :

#### ٣/٥/١ ترمومترات ضغط البخار :

تعمل ترمومترات ضغط البخار على أساس ضغط البخار (ض) للمادة النقية القابلة للتطاير يرتبط بدرجة الحرارة المطلقة د بالعلاقة التالية :

$$\log \frac{P}{P_0} = \frac{A}{T} - \frac{B}{T^2}$$

حيث أ ، ب ثابتان .

وتستخدم ترمومترات ضغط البخار على نطاق واسع لأنها رخيصة الثمن عن ترمومترات زئبق في صلب فضلاً عن أنها لا تتأثر بدرجات الحرارة المحيطة ، ولا تحتاج لبصيلة كبيرة مثل الأنواع الأخرى ، ويمكن استعمال مادة ترمومترية لهذه الترمومترات من بين عدد كبير من المواد منها الماء ( للمدى من ١٢٠ - ٢٢٠ م ) وكلوريد الميثيل ( للمدى من صفر إلى ٥٠ م ) والكحول الإيثيلي ( للمدى من ٣٠ - ١٨٠ ) إلخ .

### ٢/٥/٣ المخروطات البيرومترية :

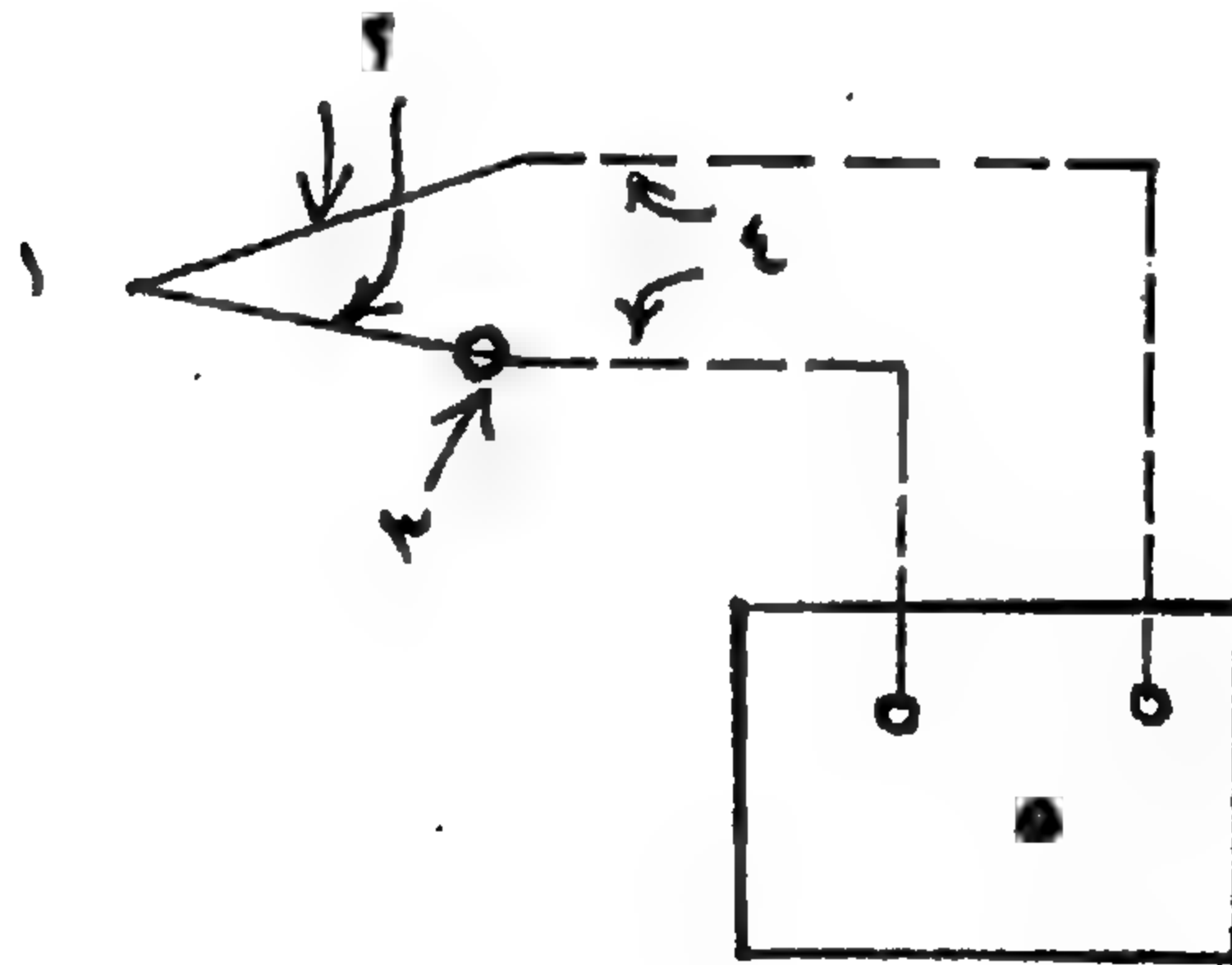
تتغير حالة المواد في ظروف محددة من النقاء والضغط عند درجات حرارة ثابتة . وقد استفيد من هذه الحقيقة في الحصول على درجات حرارة ثابتة وأيضاً لبناء مقياس لدرجة الحرارة . فمثلاً نقط الانصهار للمعادن توفر طريقة لتحديد القوة الدافعة الكهربائية لمزدوجة حرارية عند نقاط ثابتة على المقياس الدولي العملي لدرجات الحرارة . وأيضاً فإن نقط انصهار مواد معدنية معينة تستخدم على نطاق واسع في صناعة الخزف والحراريات لتعيين درجة حرارة الأفران . وقد صنعت أهرامات من مخلوطات سيليكات معدنية مثل الصلصال الصيني (سيليكات ألومنيوم) ، والتلك (سيليكات مغنسيوم) والفلسبار (سيليكات ألومنيوم صوديومي) ، الكوارتز (سيليكات) . . . إلخ وغيرها من المواد المعدنية مثل كربونات الكالسيوم .

وتعرف هذه المخروطات بمخروطات «سيجير» . ويمكن عن طريق تغيير تركيب هذه المواد تغطية مدى درجات الحرارة بين ٦٠٠ ، ٢٠٠ م على خطوات مناسبة . وتوضع مجموعة من المخروطات في الفرن ، وكلما وصلت درجة الحرارة إلى درجة انصهار إحداها فإنها تنصهر . وعندما يظهر لنا أن أحدها بدأ الانحناء ، دون الانصهار ، فإن ذلك يكون دليلاً على أن درجة حرارة الفرن تساوي درجة إنصهار هذا المخروط . ويمكن التأكد من ذلك بملاحظة المخروط الذي يليه في درجة الانصهار مباشرة الذي سنجد أنه لم ينصهر ويجب التنبيه إلى أن المخروطات ليست وسائل لقياس درجة الحرارة ، ولكنها مؤشرات للتأثيرات التراكمية للمعالجة الحرارية للمواد الخزفية المتشابهة أثناء حرقها : وبالإضافة إلى المخروطات ، فإنه توجد أيضاً مخلوطات معدنية على هيئة طباشير وطلاءات وأقراص ، تنصهر عند درجات حرارة محددة . ويستدل على درجات حرارة بين ٤٥ ، ١٣٧٠ م باستعمال مجموعة من أحد الأشكال السابقة . وعند ما تتساوى درجة حرارة الجسم مع درجة انصهار قطعة طباشير أو قرص مثلاً فإنه يلاحظ حدوث ترطيب لها ثم انصهارها .

### ٦/٣ الطرق الكهربائية لقياس درجة الحرارة :

#### ١/٦/٣ ترمومترات المزدوجات الحرارية :

ترموتر المزدوجة الحرارية عبارة عن نظام لقياس درجة الحرارة يتكون من عنصر حساس لدرجة الحرارة يعطى قوة دافعة كهربائية (ق.د.ك) يسمى المزدوجة الحرارية ، ووسيلة تحس القوة الدافعة الكهربائية الناتجة من المزدوجة وتشمل تدريباً لتحويل هذه القوة الدافعة الكهربائية إلى ما يناظرها من درجات الحرارة ، وموصلات كهربائية للوصل بين الاثنين (شكل رقم ٩) .



الشكل رقم (٩)

(١) الوصلة الساخنة (وصلة القياس) .

(٢) أسلاك الإزدواج .

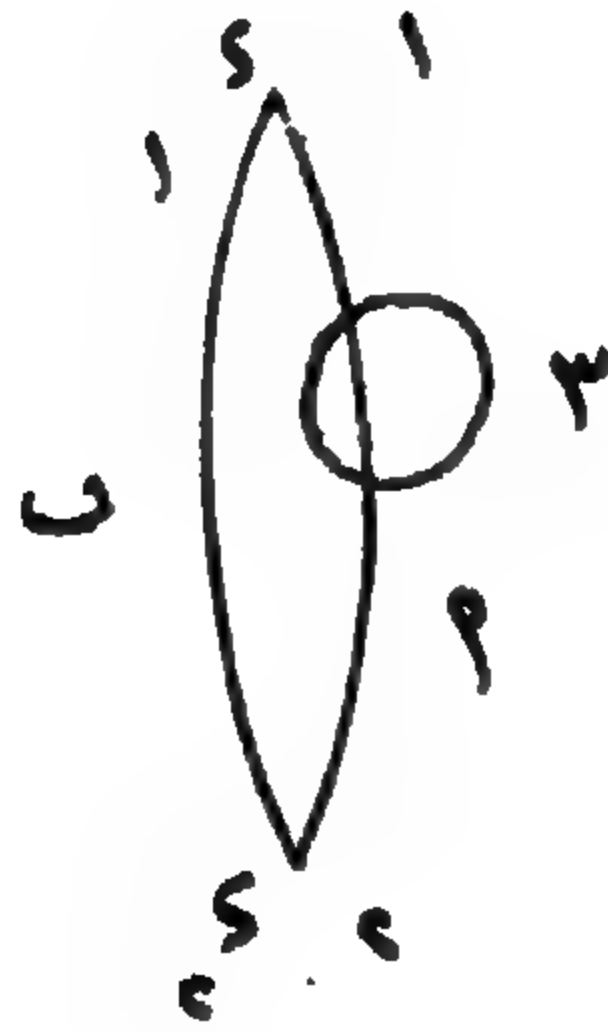
(٣) الوصلة المرجعية .

(٤) أسلاك تطويل .

(٥) جهاز قياس الجهد (القوة الدافعة الكهربائية) .



وتتكون المزدوجة الحرارية من زوج من الموصلات الكهربائية (العناصر الحرارية) معزولين عن بعضهما فيما عدا عند الوصلتين التي تتكون كل منهما بوصل طرف أحد العناصر الحرارية بطرف العنصر الثاني وإحدى الوصلتين تسمى وصلة القياس أو الوصلة الساخنة وهي التي تعرض لدرجة الحرارة المطلوب قياسها ، أما الثانية فتسمى الوصلة المرجعية أو الوصلة الباردة وهي التي تعرض لدرجة حرارة معلومة مثل الصفر المئوي وإذا كان لدينا مزدوجة حرارية ، ووضعت وصلة القياس في درجة الحرارة د ووضعت الوصلة المرجعية في وسط درجة حرارته د كما هو موضح بالشكل (١٠) وكانت د تختلف عن د ، فإنه سوف تتولد قوة دافعة كهربائية في الدائرة يمكن كشفها بقياسها بواسطة ملى فلطمر مثلاً ، وتتوقف هذه القوة الكهربائية على الفرق د - د ، نوع مادتي الوصلتين .



الشكل رقم (١٠)

دائرة بسيطة لازدواج حرارى . (١) وصلة مرجعية عند درجة حرارة د .

(٢) وصلة القياس عند درجة حرارة د .

(٣) جهاز قياس القوة الدافعة الكهربائية .

أ ، ب سلكا المزدوجة .

وعلى هذا فإنه بقياس القوة الدافعة الكهربائية يمكن قياس الفرق د<sub>١</sub> - د<sub>٢</sub> فإذا كانت د<sub>٢</sub> معلومة لدينا ، لأمكن معرفة د<sub>١</sub> .

ونظراً لأن القوة الدافعة الكهربائية التي تنتج في معظم قياسات درجة الحرارة تكون حوالى ١٠ إلى ٥٠ مللى فولت ، لذا فإنه يلزم دائماً استخدام أجهزة قياس حساسة مناسبة لتحويل هذه الجهود المنخفضة إلى ما يكافئها من درجات الحرارة . ويمكن قياس القوة الدافعة الكهربائية باستخدام مللى فولتمتر ذى ممانعة عالية ، وخلية قياسية أو مصدر جهد منخفض مستقر جداً .

وقد استخدمت لقياس القوة الدافعة الكهربائية حديثاً مقاييس جهد (بوتنشيترات) حديثة تتوازن تلقائياً بواسطة مصادر قدرة منتظمة بصمام زينر الثنائى ومقاومات تعويض من النيكل أو النحاس الحساس لدرجة الحرارة بدقة عالية ، مما جعل بالإمكان قياس درجة الحرارة بدقة دون حاجة إلى حمام ثلج أو للموازنة اليدوية لدائرة القنطرة .

### ٣/٦/١ أنواع المزدوجات الحرارية :

يوجد نوعان من المزدوجات أولهما المزدوجات المصنوعة من المواد النفيسة وثانيهما المزدوجات المصنوعة من المواد غير النفيسة . ويستخدم النوع الأول في كثير من الصناعات وأكثرها شيوعاً مزدوجة بلاتين - بلاتين/روديوم الذى يستعمل في التحكم في الأفران في صناعات الصلب وأشباه الموصلات وغيرها . ويمكن استخدام مزدوجات النوع الأول لقياس درجات الحرارة حتى ١٥٠٠م بصفة مستمرة وحتى ١٦٥٠م بصفة متقطعة ، ويوضح الجدول رقم (٣) المزدوجات الحرارية الشائعة الاستخدام في الصناعة والمدى الموصى به لاستخدامها .

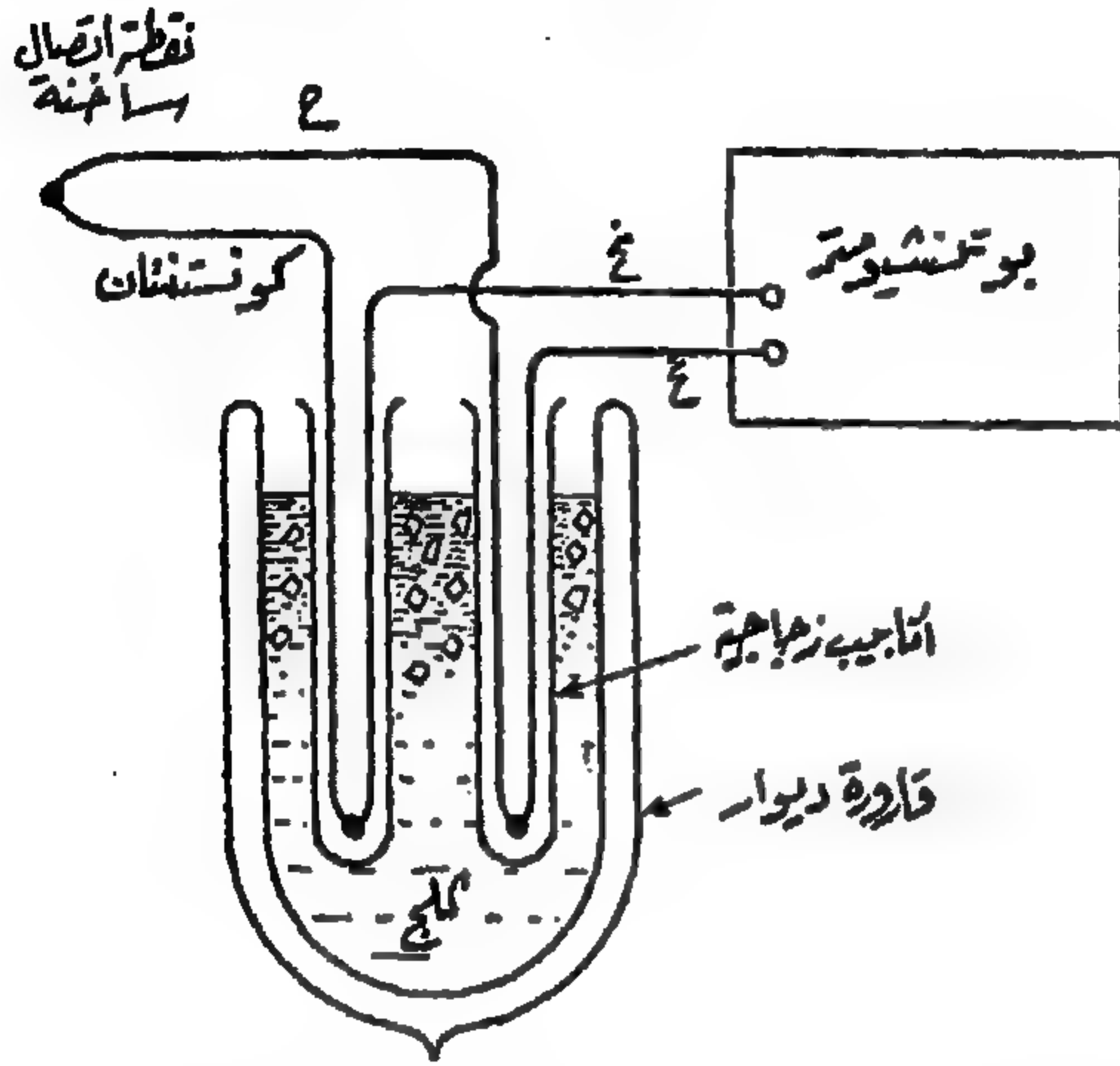
الجدول رقم ( ٣ )  
أنواع المزدوجات الشائعة في القياسات الصناعية ومداها

المدى ( م° )	المزدوجة الحرارية	
	العنصر الموجب	العنصر السالب
٨٧٠ إلى ١٥٠ -	كروم	كونستنتان
٧٦٠ إلى ١٥٠ -	حديد	كونستنتان
١٢٦٠ إلى ١٥٠ -	كروم	الوميل
صفر إلى ١٥٠٠	بلاتين ١٠ ٪ روديوم	بلاتين
صفر إلى ١٥٠٠	بلاتين ١٣ ٪ روديوم	بلاتين
٣٤٠ إلى ١٥٠ -	نحاس	كونستنتان

وفي الأعمال التي تتطلب دقة كبيرة جرت الخبرة على جعل نقطة الإتصال الباردة عند درجة حرارة الثلج ويكون التوصيل كما في شكل ( ١١ ) الذين يبين توصيلات مزدوج حرارى من معدنى الحديد والكنستنتان .

وفي مزدوجات النحاس والكونستنتان يلزم وضع نقطة واحدة فقط في الثلج ثم توصل السيخان النحاسية للمزدوجات الحرارية بواسطة مفتاح أحادى القطب ، مصنوع من النحاس ، وخالى من القوة الدافعة الكهربائية .

ويوضح الشكل رقم (١١) وصلة ملحومة ، ولعمل مثل هذه الوصلة فإن السلكين يعريان ثم ينظفان بقطعة من قماش السنفرة الدقيقة (قماش تنعيم) ، ثم يفتلان (يبدلان)



شكل رقم (١١)

ويغمسان في محلول تيتراكوريد الكربون ثم يلحم السلكان معاً باستخدام اللهب إذا كانت مادة اللحام هي الفضة أو مكواه كهربائية إذا كانت مادة اللحام سبيكة رصاص - قصدير. ويراعى أن استخدام اللهب في لحام أسلاك من البلاتين أو من سبائكها أو من الألوميل قد ينتج عنه عدم التجانس والهشاشة في الأسلاك ، لذا يفضل بالنسبة لهذه المواد استخدام طريقة الصهر الكهربائي لتكوين الوصلات المطلوبة .

### ٢/١/٦/٣ أسلاك التوصيل وأسلاك التجميد :

عند استخدام المزدوجة الحرارية في دائرة قياس فإنه يتم استخدام زوجين من الموصلات الكهربائية لتوصيلها بأداة أو جهاز القياس المستخدم لقياس القوة الدافعة الكهربائية . وفي العادة يكون السلكان من النحاس عندما تكون الوصلة المرجعية للمزدوجة في وسط درجة حرارته هي الصفر المئوي .

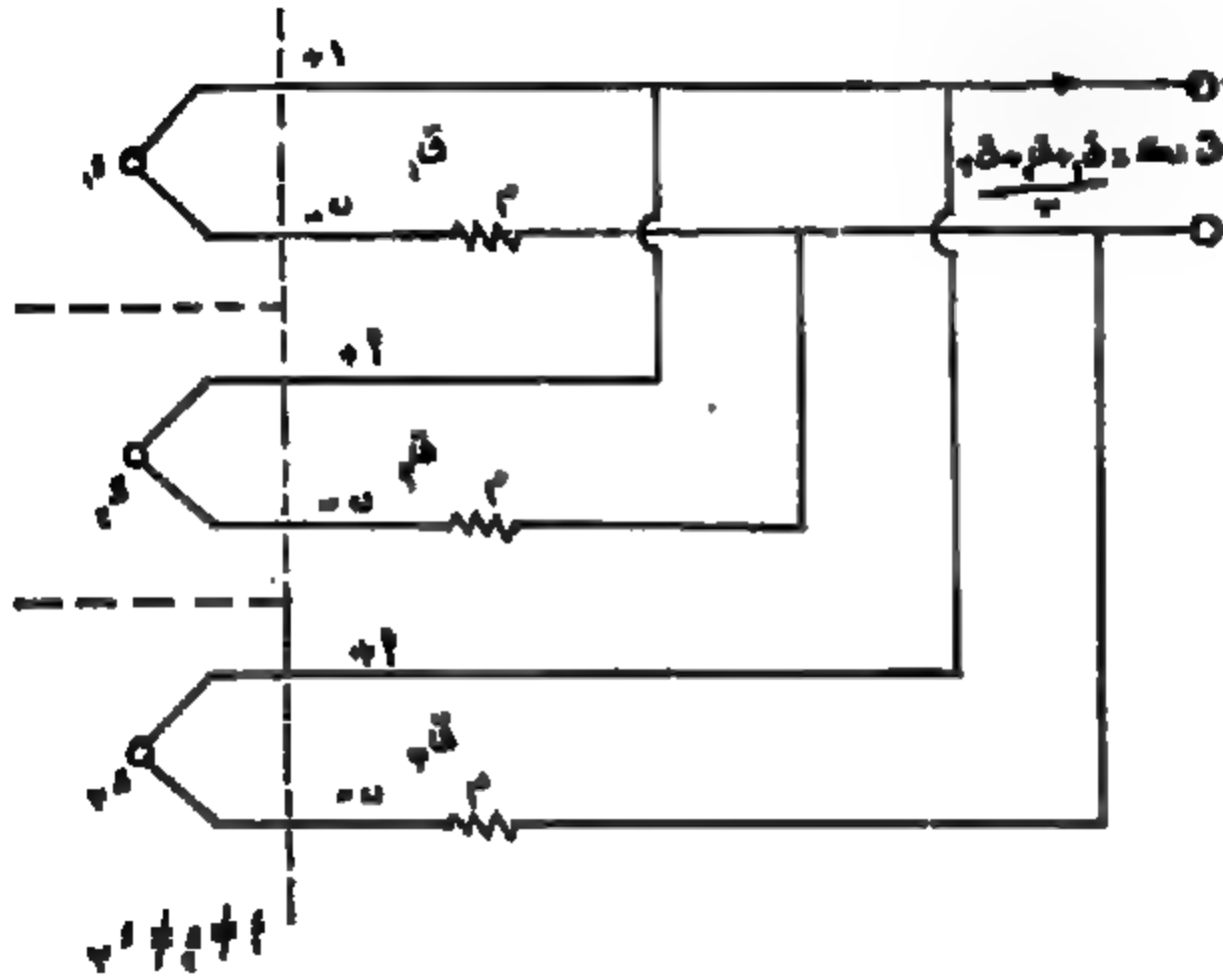
وعندما يكون جهاز القياس المستخدم مع المزدوجة الحرارية ليس مجاوراً لها أو قريباً

منها ، فإنه يكون من الضروري توصيل الوصلة الباردة (المرجعية) للمزدوجة بواسطة سلك تمديد (تطويل) مع الجهاز. وهذا السلك يجب أن يكون ذا خصائص مشابهة لخصائص الأسلاك المكونة المزدوجة ، وإلا فإن استعمال أسلاك تمديد مختلفة الخصائص سيكون بمثابة إدخال مزدوجات إضافية جديدة في دائرة المزدوجة المستخدمة في القياس . وفي العادة تكون أسلاك التمديد من نفس أسلاك المزدوجة إذا كانت المواد من غير المعادن النفيسة ، أما إذا كانت المواد المصنوع منها المزدوجة من المعادن النفيسة فإنه لا يمكن استخدام نفس المواد في أسلاك التمديد نظراً لأن ذلك يكلف كثيراً ، ولهذا تستخدم أسلاك من معادن ذات خصائص كهربائية حرارية مشابهة لمواد المزدوجة . وبصفة عامة فإن أسلاك التطويل (التمديد) تكون غليظة القطر نسبياً (لتكون مقاومتها صغيرة) غير أن ذلك يجعلها غير ملائمة للربط بأطراف التوصيل مباشرة ، وإنما يتم توصيلها بصندوق وصلات . وإذا تم التحكم حرارياً في درجة هذا الصندوق فإنه يمكن التوصيل من صندوق الوصلات إلى أجهزة القياس بواسطة أسلاك من النحاس لأننا بذلك نكون قد أدخلنا وصلة باردة (مرجعية) ذات درجة حرارة ثابتة .

### ٣/١/٦/٣ استخدامات المزدوجات :

لا يقتصر استخدام المزدوجات لقياس درجة الحرارة في نقطة واحدة من الوسط فقط ، ولكن يمكن توصيلها على التوازي لقياس درجة الحرارة المتوسطة في منطقة من الوسط (الشكل رقم ١٢) ويتم التوصيل على التوازي لمجموعة من المزدوجات بتوصيل العناصر الموجبة لها إلى سلك توصيل واحد وكذلك توصيل العناصر السالبة إلى سلك توصيل آخر أيضاً . ولتقليل المقاومات غير المتشابهة وأسلاك التوصيل الخاصة بها إلى نقطة الاتصال المتوازي في جهاز القياس فإنه تستخدم مقاومة م على التوالي مع كل مزدوجة حرارية . وهذه المقاومة تمنع تدفق التيار فيما بين المزدوجات ، وبذلك تمنع حدوث خطأ في القياس ويتم اختيار هذه المقاومة بحيث تكون قيمتها كبيرة بالنسبة إلى

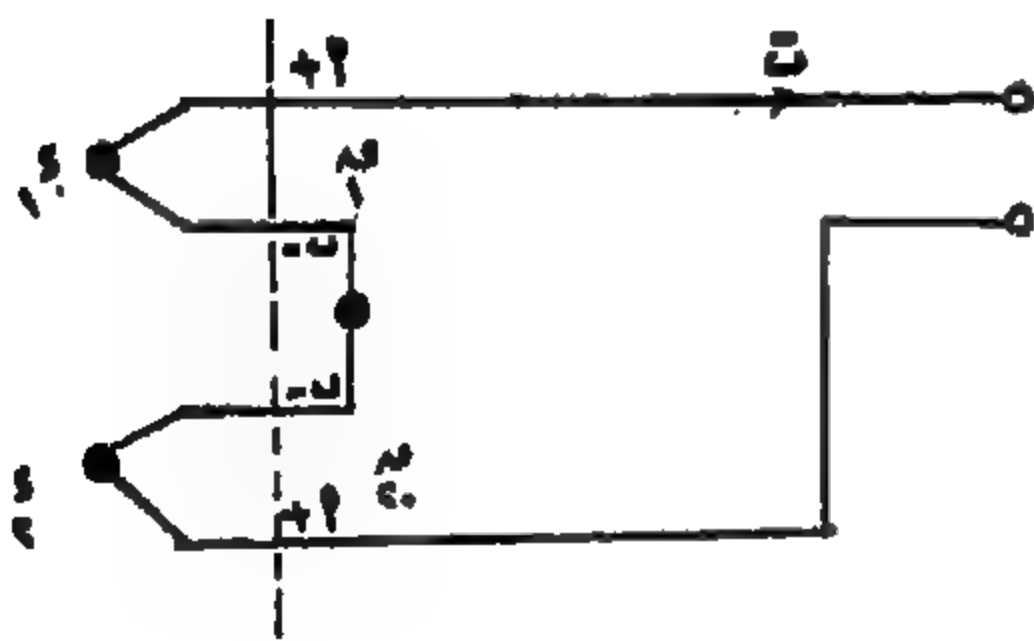
المقاومة الإجمالية للدائرة وإلى التغيرات التي تحدث في مقاومات المزدوجات الحرارية ، نتيجة تغير درجة الحرارة ، وتكون هذه المقاومة في العادة ٥٠٠ - ٢٠٠٠ أوم .



شكل رقم (١٢)

تستخدم الإزدواجات على التوازي لقياس درجات الحرارة المتوسطة .

ويمكن استخدام المزدوجات أيضاً لقياس فروق درجات الحرارة بتوصيلها على التوالي مع عكس الأقطاب (الشكل رقم ١٣) ، ويراعى في حالتى استخدام دوائر المزدوجات على التوالي أو التوازي أن تكون هذه المزدوجات ذات خصائص خطية .



الشكل رقم (١٣)

استخدام مزدوجتين لقياس فروق درجات الحرارة ١ د - ٢ د يعكس الأقطاب .  
جيوب واقية تسمح بإخراج المزدوجة دون غلق أو تعطيل العملية الصناعية .

ويمكن الاستدلال من الجدول رقم ٣ على مدى درجات الحرارة ، لكل مزدوجة حرارية ، والذي تكون فيه العلاقة خطية بين القوة الدافعة الكهربائية ودرجة الحرارة .  
أى يمكن تمثيلها بنحط مستقيم .

### ٣/٦/١/٤ وقاية المزدوجة الحرارية من الضوضاء :

في السابق كانت القوة الدافعة الكهربائية التي تنتجها المزدوجات تقاس بواسطة ملي فولطمترات ، ومقاييس جهد ذات معاوقة منخفضة. ولذلك لم تكن قراءتها تتأثر تأثيراً كبيراً بالضوضاء ، أما الآن وبعد أن أصبحت أجهزة القياس أكثر تعقيداً وحساسية فإن الدوائر الكهربائية المستخدمة ذات معاوقة عالية ، وبصفة عامة فإنه كلما كان مستوى الجهد منخفضاً والمعاوقة عالية في دائرة القياس زادت درجة تأثيرها بجميع أنواع الضوضاء سواء كانت استاتيكية أو مغناطيسية .

وتنتج الضوضاء الاستاتيكية عن المجال الكهربائي المشع من مصدر جهد مقرون سعوياً مع دائرة المزدوجة الحرارية . وأكثر الطرق فاعلية للتخلص من هذا النوع من الضوضاء هو وضع دائرة المزدوجة داخل حجاب يغطيها بأكملها . ويعزل سلكا التوصيل الخاصان بالمزدوجة من التأثيرات الخارجية ، ويقوم هذا الحجاب المتصل بالأرض باعتراض التداخلات الاستاتيكية وإرسالها إلى الأرض ، ويراعى هنا أن الحجاب لن تكون له أية فائدة إذا لم يوصل بالأرض .

أما الضوضاء المغناطيسية فتنتج من التيارات الكهربائية المتدفقة عبر الموصلات والمعدات الكهربائية كالمحركات والمولدات ، وذلك لأن التيار الكهربائي المتدفق يشع مجالاً مغناطيسياً حوله ، وعندما يمر المجال المغناطيسي في الحيز الواقع فيما بين الموصلات بدائرة المزدوجة الحرارية ، فإنه ينشئ تياراً في تلك الدائرة . وهذا يؤدي إلى وجود ضوضاء تراكب فوق الإشارة بدائرة المزدوجة الحرارية ، وهذا يؤدي بالتالي إلى حدوث خطأ في نتيجة القياس . ويمكن تقليل تأثير الضوضاء المغناطيسية باستخدام أسلاك توصيل مجدولة لأنها تؤدي إلى إلغاء هذه الضوضاء في الأجزاء المجاورة لها . وهذه الطريقة لا تكلف شيئاً .



### ٥/١/٦/٣ خصائص المزدوجات الحرارية :

يعتمد الحد الأقصى لدرجات الحرارة بالنسبة للمزدوجات على مقاسات الأسلاك المكونة منها ، وعلى نوع الوسط المحيط بها أثناء استعمالها من حيث كون الوسط يقيها من الصدا والتلوث أو غير ذلك . ويوضح الجدول رقم (٤) الحدود القصوى الموصى بها لدرجات الحرارة للمزدوجات المستخدمة في القياس في ظروف محيطة تقيها من التآكل والتلوث والحد الأقصى لمقاسات أسلاكها .

#### الجدول رقم (٤)

الحدود القصوى الموصى بها لدرجات الحرارة التي تستخدم فيها المزدوجات الموضوعة في أجواء تقيها من التآكل والتلوث ، الحد الأقصى لمقاس أسلاك هذه المزدوجات

الحد الأقصى لمقاسات الأسلاك ( بالمليمتر )				نوع المزدوجة الحرارية
٣,٢٥	١,٦٣	٠,٨١	٠,٣٣	
°م	°م	°م	°م	
—	٣٧١	٢٦٠	٢٠٤	نحاس - كونستنتان
٧٦٠	٥٩٣	٤٨٢	٣٧١	حديد - كونستنتان
٨٧١	٦٤٩	٥٣٨	٤٢٧	كروميل - كونستنتان
١٢٦٠	١٠٩٣	٩٨٢	٨٧١	كروميل - ألوميل ١٠٪
—	—	—	١٤٨٢	بلاتين ( ١٣٪ روديوم ) - بلاتين
—	—	—	١٧٠٥	بلاتين ( ٣٠٪ روديوم )
—	—	—	—	بلاتين ( ٦٪ روديوم )

كما يوضح الجدول رقم (٥) حدود الخطأ للمزدوجات ، وأسلاك التحديد بالنسبة لمقاسات الأسلاك القياسية :

الجدول رقم (٥)

نوع المزدوجة	المدى م	حدود الخطأ	نوع سلك التثبيت	المدى م	حدود الخطأ
نحاس - كوستنتان	١٨٤ - إلى ٥٩	٥٩ - إلى ١٠١ -	٥٩ - إلى ١٠١ -	٥٩ - إلى ١٨٤ -	٥٩ - إلى ١٠١ -
حديد كوستنتان	٣٧١ - إلى ٩٣ +	٩٣ + إلى ٣٧١ -	٩٣ + إلى ٣٧١ -	٩٣ + إلى ٣٧١ -	٩٣ + إلى ٣٧١ -
كروميل - كوستنتان	٣١٦ إلى ٠	٣١٦ إلى ٠	٣١٦ إلى ٠	٣١٦ إلى ٠	٣١٦ إلى ٠
كروميل - ألوميل	٢٧٧ إلى ٠	٢٧٧ إلى ٠	٢٧٧ إلى ٠	٢٧٧ إلى ٠	٢٧٧ إلى ٠
بلاطين - بلاطين (١٣٪) أو ١٠٪ روديوم	١٤٨٢ إلى ٥٣٨	١٤٨٢ إلى ٥٣٨	١٤٨٢ إلى ٥٣٨	١٤٨٢ إلى ٥٣٨	١٤٨٢ إلى ٥٣٨
بلاطين - بلاطين (٣٠٪) روديوم أو ٦٪ روديوم	١٧٠٥ إلى ٨٧١	١٧٠٥ إلى ٨٧١	١٧٠٥ إلى ٨٧١	١٧٠٥ إلى ٨٧١	١٧٠٥ إلى ٨٧١
نحاس - كوستنتان	٩٣ + إلى ٣٧١ -	٩٣ + إلى ٣٧١ -	٩٣ + إلى ٣٧١ -	٩٣ + إلى ٣٧١ -	٩٣ + إلى ٣٧١ -
حديد كوستنتان	٣٧١ - إلى ٩٣ +	٣٧١ - إلى ٩٣ +	٣٧١ - إلى ٩٣ +	٣٧١ - إلى ٩٣ +	٣٧١ - إلى ٩٣ +
كروميل - كوستنتان	٣١٦ إلى ٠	٣١٦ إلى ٠	٣١٦ إلى ٠	٣١٦ إلى ٠	٣١٦ إلى ٠
كروميل - ألوميل	٢٧٧ إلى ٠	٢٧٧ إلى ٠	٢٧٧ إلى ٠	٢٧٧ إلى ٠	٢٧٧ إلى ٠
بلاطين - بلاطين (١٣٪) أو ١٠٪ روديوم	١٤٨٢ إلى ٥٣٨	١٤٨٢ إلى ٥٣٨	١٤٨٢ إلى ٥٣٨	١٤٨٢ إلى ٥٣٨	١٤٨٢ إلى ٥٣٨
بلاطين - بلاطين (٣٠٪) روديوم أو ٦٪ روديوم	١٧٠٥ إلى ٨٧١	١٧٠٥ إلى ٨٧١	١٧٠٥ إلى ٨٧١	١٧٠٥ إلى ٨٧١	١٧٠٥ إلى ٨٧١

وتعتمد ضباطة القياسات التي يمكن الحصول عليها بواسطة المزدوجات بصفة رئيسية على مدى درجة الحرارة وعلى الأسلوب الفني المتبع . ويتوقف زمن استجابة المزدوجة الحرارية للتغير في درجة الحرارة على كتلة الوصلة الحساسة لدرجة الحرارة ، وشكلها الهندسي ، وطريقة أو طرق انتقال الحرارة بين الوصلة والوسط المحيط بها . وتزداد سرعة الاستجابة بازدياد النسبة بين مساحة سطح الوصلة إلى كتلتها وذلك عند ثبات ظروف انتقال الحرارة ، وعندما يوضع الازدواج داخل جيب أو غطاء واق فإن استجابته تعتمد على تأثير انتقال الحرارة من الوسط إلى الجيب أو الغلاف ثم من الجيب إلى الوصلة . وتتغير حساسية المزدوجة الحرارية إلى حد ما بتغير درجة الحرارة ، ويعبر عن الحساسية بمعدل تغير القوة الدافعة الكهربائية بالنسبة للتغير في درجة الحرارة ، ويوضح الجدول رقم (٦) متوسط الحساسية ، مقدرة بالميكروفولت لكل درجة مئوية ، لبعض المزدوجات شائعة الاستعمال :

الجدول رقم (٦)  
متوسط الحساسية لبعض المزدوجات

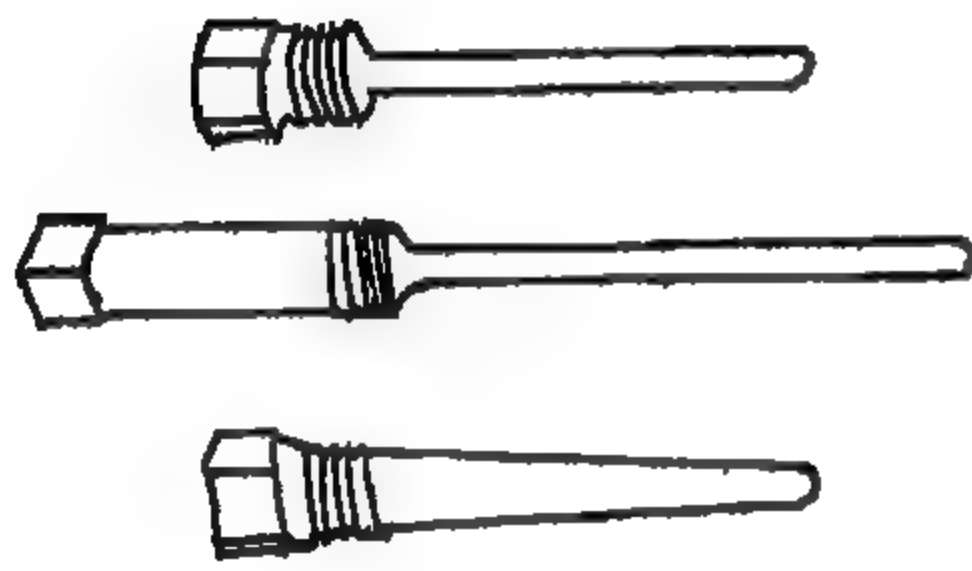
المزدوجة الحرارية	متوسط الحساسية (ميكروفولت لكل درجة للمدى الموضح قرين كل منها
نحاس - كونستنتان	٥٠,٤ (٣٤٣-م°)
حديد - كونستنتان	٥٧,٦ (٧٦٠-م°)
كروميل - الوميل	٤١,٤ (١٢٠٠-م°)
بلاتين ١٠ روديوم - بلاتين	١١٣ (٥٤٠-م° - ٢٤٥٠-م°)
كروميل - كونستنتان	٧٥,٦ (٧٦٠-م°)

### ٦/١/٦/٣ معايرة المزدوجات :

يمكن معايرة المزدوجة الحرارية بوضعها مع مزدوجة قياسية في منطقة ذات درجة حرارة منتظمة ومقارنة قراءتيهما . ولضمان تعرضها لدرجة حرارة واحدة ، فيمكن وضعها في ثقب متقاربة في كتلة من معدن نقي . ويمكن أيضاً غمر المزدوجة في مقدار كاف من مادة قياسية ، بينما تبرد هذه المادة مروراً بنقطة تجمدها . . إذ أنه عندما تتحول مادة من حالة السيولة إلى حالة الصلابة فإن الحرارة الكامنة تتحرر وتحافظ على درجة حرارة المادة عند قيمة ثابتة لفترة من الوقت على الرغم من أن المادة تعطي حرارة إلى الوسط المحيط بها . ويراعى أن تكون المزدوجة مغمورة بدرجة كافية في المادة وأنها بعيدة بدرجة كافية عن جدار الوعاء الحوى للمادة . ومن أمثلة المواد المستخدمة لهذا الغرض الذهب ونقطة تجمده  $1064,43^{\circ}\text{C}$  ، الفضة ونقطة تجمدها  $961,93^{\circ}\text{C}$  ، الخارصين ونقطة تجمده  $419,58^{\circ}\text{C}$  . . إلخ . وهذه المواد هي بعض المواد القياسية التي تستخدم نقاط تجمدها في تعريف المقياس الدولي العملي لدرجة الحرارة (مقياس ١٩٦٨) . وتوجد طريقة أخرى تناسب معايرة مزدوجات المواد الثمينة عند نقطة الذهب ( $1064^{\circ}\text{C}$ ) ونقطة البلاديوم ( $1554^{\circ}\text{C}$ ) ونقطة البلاتين ( $1772^{\circ}\text{C}$ ) بأن يوضع سلكا المزدوجة الحرارية ، وتفصلها مسافة ٥ مم ، في مركز فرن روديوم - بلاتين أنبوي الشكل - يوصل الطرفان الحران للسلكين ببعضهما عن طريق سلك قصير من الذهب أو البلاديوم أو البلاتين النقي (إلا في الحالات التي يكون البلاتين أحد عنصري الازدواج) ويكون هذا السلك مجدولاً أو مصهوراً مع طرفي سلكي المزدوجة الحرارية . وتوضع الوصلة الباردة للمزدوجة في ثلج مجروش ، داخل قارورة مفرغة ، ثم ترفع درجة حرارة الوصلة الساخنة إلى ما دون درجة انصهار النقطة المطلوب تعيينها بعشرين درجة مئوية ، ثم ترفع بمعدل ٠,٥ - ١ م كل دقيقة . وفي العادة ترتفع القوة الدافعة الكهربائية باستمرار إلى قيمة قصوى ثم تنخفض قليلاً جداً إلى قيمة ثابتة حتى ينصهر السلك فتقطع الدائرة .

### ٧/١/٦/٣ ملاحظات خاصة بتركيب المزدوجات واستخدامها :

- \* تختار أسلاك التمديد المناسبة لنوع المزدوجة المستعملة ، ويوصى بوضع الازدواج - كلما أمكن - داخل أنبوبة (حجاب) موصلة توصيلاً مناسباً بالأرض لمنع التداخلات الاستاتيكية الناتجة عن خطوط القوى الكهربائية المجاورة .
- \* يراعى عدم وضع وصلة القياس (الوصلة الساخنة) للمزدوجة الحرارية في مسار اللهب أو تيارات الغازات الأكثر سخونة عن الوسط الذى تقاس درجة حرارته .
- \* فى كثير من التطبيقات الصناعية يكون من الضرورى وضع الازدواج فى جيب واق (الشكل رقم ١٤) .



الشكل رقم (١٤)  
جيب واقية تسمح بإخراج المزدوج دون غلق أو تعطيل  
العملية الصناعية .

حتى يمكن إخراج المزدوجة لاستبدالها إذا استدعى الأمر دون حاجة لإيقاف أو غلق العملية الصناعية التى تقاس فيها درجة الحرارة ، ولذلك فإنه فى الحالات التى يلزم أن تكون الاستجابة سريعة (أى زمن استجابة قصير) فإنه يجب استخدام المزدوجة الحرارية عارية أو مغلفة بغلاف رقيق .

\* عند قياس درجة حرارة سائل أو غاز فإنه يجب تجنب وضع وصلة القياس فى المناطق الساكنة غير الممثلة لدرجة الحرارة وتبذل عناية كافية لوضع وصلة القياس للمزدوجة داخل منطقة دوامية أو مضطربة بالوسط الساخن وذلك لتقليل تأخر النقل الحرارى ولتحسين درجة التحكم فى العملية الصناعية إذا كانت المزدوجة مستخدمة فى التحكم .

\* عندما تتغير درجة الحرارة من نقطة لأخرى فى الوسط الذى تقاس

درجة حرارته ، كما في حالة أفران المجرمة المستمرة ، فإنه يلزم إجراء مسح مبدئي لمعرفة توزيع درجات الحرارة في الفرن باستعمال مزدوجة قابلة للتحريك (نقالى) ، ثم يتم اختيار أفضل نقطة توضع فيها المزدوجة المستخدمة في التحكم أو الضبط .

« عند استعمال أنبوبة واقية حول وصلة القياس وجزء من أسلاك التوصيل الخاصة للمزدوجة فيجب غمرها بالقدر المناسب في داخل الوسط الذى تقاس درجة حرارته بحيث تمنع القراءات الخاطئة بسبب انتقال الحرارة على طول الأنبوبة ، وكذلك على طول الموصلات ، والقاعدة العامة في هذا الصدد أن يكون عمق الغمر في السائل أكبر ما يمكن على ألا يقل بحال من الأحوال عن عشرة أمثال القطر الخارجى لأنبوبة الوقاية ، ومع ذلك فإنه يمكن باستخدام تصميمات مناسبة لتجميعات المزدوجة - الحرارية أن يكون الغمر أقل مما هو محدد بالقاعدة العامة السابقة .

« عندما تكون درجة الحرارة المطلوب قياسها أكبر من درجة الحرارة المناسبة لأنبوبة الوقاية فإنه يراعى وضع المزدوجة الحرارية رأسياً بقدر ما تسمح به الظروف حتى يمنع ارتخاء الأنبوبة الواقية .

« يمكن زيادة المقاومة الميكانيكية لوصلة القياس بجعل (لى) السلكين الخاصين بها عدداً من اللفات ، قريباً من نقطة الاتصال بينهما ، ولكن يجب فك هذه اللفات في الحالة التى يوجد فيها تدرج لدرجة الحرارة عند وصلة القياس .

٣/٦/١/٨ مزايا المزدوجة الحرارية وعيوبها :

يمكن سرد المزايا الرئيسية للمزدوجة الحرارية فيما يلى :

- ١ - سهولة التصميم والتشغيل .
- ٢ - صغر الحجم والمرونة إذ يمكن تركيبها في أى حيز حتى لو كان الوصول إليه صعباً نسبياً .

- ٣ - تكاليفها قليلة إذ أن العناصر الأولية التى تصنع منها رخيصة الثمن .

٤ - يمكن استبدال أى من وحدات مجموعة القياس منفردة بأخرى من ذات نوعها .

٥ - صلاحيتها للاستخدام فى مدى كبير من درجات الحرارة وبدقة عالية .  
وللمزدوجة الحرارية أيضاً عيوبها التى تتمثل فى الآتى :  
\* الإشارة الخارجية منها تكون صغيرة نسبياً مما يقتضى وجود أجهزة قياس حساسة . وأنه من الضرورى معرفة درجة حرارة الوصلة المرجعية أو التعويض عنها ، كما أن دقة قراءتها عرضة للتغير إذا استخدمت لفترة طويلة ، وبصفة خاصة عند الحد الأعلى لدرجة الحرارة الخاص بها .

### ٣/٦/٢ ترمومترات المقاومة الكهربائية :

استخدمت ترمومترات المقاومة لقياس درجة الحرارة منذ زمن طويل . وأفضل استخداماتها يتمثل ، بصفة رئيسية ، فى مجال القياسات التى تتطلب دقة عالية ولكنها فى الوقت ذاته تقع فى مدى ضيق من درجات الحرارة ، ويتكون ترمومتر المقاومة من عنصر حساس لدرجة الحرارة (مقاوم) وجهاز لقياس المقاومة والموصلات الكهربائية التى تصل بينها .

وتعتمد ترمومترات المقاومة فى عملها على أن المقاومة الكهربائية للعنصر الحساس ، الذى يكون غالباً على شكل سلك معدنى ، تتغير بتغير درجة الحرارة ، وعلى هذا يمكن قياس درجة الحرارة بقياس مقاومة عنصر حساس معاير معرض لدرجة الحرارة المطلوب قياسها . وتعاير مقاومة الترمومتر عند درجات حرارة معلومة ومستقرة مثل نقاط التجمد والغليان لمواد معينة . ويطلق على مقدار التغير فى المقاومة المناظر لتغير فى درجة الحرارة مقداره  $\alpha$  «معامل درجة الحرارة للمقاومة» . وهذا المعامل يكون ثابت القيمة للمعادن النقية فى مدى معين من درجات الحرارة ، فمثلاً قيمته بالنسبة لمقاوم من البلاتين النقي فى المدى ما بين صفر ، مائة درجة مئوية هو  $0,00392$  .



أوم/أوم/ (م) . وتكون قيمة هذا المعامل موجبة دائماً بالنسبة للمواد جيدة التوصيل للكهرباء (أى الموصلات) وسالبة بالنسبة للمواد من أشباه الموصلات وتشمل المواد شائعة الاستخدام فى صناعة العناصر الحساسة لترمومترات المقاومة المعدنية البلاتين ، النيكل ، النحاس ، وسبائك النيكل مع النحاس ، التنجستن ، ولكن أكثرها استخداماً البلاتين وذلك لأنه يمكن تمثيل العلاقة بين مقاومة العنصر الحساس البلاتينى ودرجة الحرارة بعلاقة خطية وذلك بالنسبة لمدى كبير من درجات الحرارة ، وبلى البلاتين فى الاستخدام النيكل لأن معامل درجة الحرارة للمقاومة المصنوعة منه يكون كبيراً نسبياً على الرغم من أن العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة ليست خطية .

### ٣ / ٦ / ٢ / ١ أنواع ترمومترات المقاومة :

تصنف ترمومترات المقاومة طبقاً لنوع المادة المستخدمة فى صنع المادة الحساسة وطبقاً لنوع الاستخدام إلى ما يلى :

#### (١) ترمومتر المقاومة البلاتينى :

اختير البلاتين للاستخدام فى صناعة الترمومترات ذات الدقة العالية نظراً لما يتميز به (أى البلاتين) من مزايا ، فالعلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة بسيطة وتنطبق فى مدى كبير من درجات الحرارة ، كما أن مقاومته النوعية عالية نسبياً ومعامل الحرارة للمقاومة النوعية مرض فضلاً عن أنه يقاوم التآكل ومستقر جداً من الناحية الفيزيائية ويمكن التخلص من الإجهادات به عن طريق تسخينه فى الهواء إلى درجة حرارة عالية . والعيب الوحيد للبلاتين هو أنه قد يتلوث إذا وضع فى جو مختزل وتعرض لأبخرة معدنية ، ويوجد من ترمومتر المقاومة البلاتينى نوعان أحدهما بالغ الضباطة ويستخدم فى تعريف المقياس الدولى العملى لدرجات الحرارة فى المدى ما بين - ١٨٢,٩٦ م (نقطة غلي: الأوكسجين) ، ٦٣٠,٧٤ م (نقطة انصهار الأنثيمون) أما النوع الثانى من

ترمومترات المقاومة البلاتيني فهو الذي يستخدم في القياسات بالصناعة ويسمى تبعاً لذلك «ترمومتر المقاومة البلاتيني الصناعي» .

ويصنع ترمومتر المقاومة البلاتيني بالغ الضباطة من بلاتين نقي جداً على شكل سلك ملف لولبياً على قطعتي ميكا متعامدتين على بعضهما البعض ، وبها حوز توضع بها السلك البلاتيني . وبعد ذلك يُعالج السلك حرارياً وتضبط مقاومته بحيث تكون  $25,5 + 0,1$  أوم عند الصفر المئوي . ثم يلحم بكل طرف من طرفي سلك ملف البلاتين سلكاً توصيل من الذهب ، ويوضع ملف البلاتين بأسلاك التوصيل داخل أنبوبة من زجاج البيركس قطرها الخارجى ٧ مم ، وتغزل أسلاك التوصيل عن بعضها بواسطة أنابيب زجاجية تفصل بينها حلقات من الميكا وتفرغ أنبوبة البيركس إلى أن يصل ضغط الهواء الجاف فيها إلى حوالى  $\frac{1}{4}$  الضغط الجوى ، ثم تغلق بإحكام ، وبذلك يكون لدينا ترمومتر بالغ الضباطة صالح للاستخدام في المدى من - ١٩٠ إلى ٥٠٠ م .

ويوجد نوعان من ترمومتر المقاومة البلاتيني بالغ الضباطة وهما يستخدمان في القياسات الحرارية ، والنوع الأول منها يكون جزءاً من المسعر الحرارى وفي هذا النوع يوضع ملف ترمومتر المقاومة في أنبوبة بلاتين يتم تفريغها ثم ملؤها بالهليوم وتغلق بإحكام ، وفائدة الهليوم أنه يزيد سرعة استجابة الترمومتر للتغيرات في درجة الحرارة وذلك نظراً لأنه ذو موصلية أكبر من موصلية الهواء ، ويناسب هذا الترمومتر القياسات فيما بين - ٢٦٩ و ٢٥٠ م أما النوع الثانى من ترمومترات المقاومة البلاتين المستخدمة في القياسات الحرارية فيكون فيه السلك البلاتيني ملفوفاً على قطعة ميكا ذات حوز يمر بها السلك ويغلف برفائق من الميكا ثم يوضع هذا الملف داخل أنبوبة معدنية رقيقة الجدار ويغلق ثم يفلطح الجزء من الأنبوبة الواقع أعلى الملف لكي يزيد سرعة استجابته للتغير في درجات الحرارة . ويصنع ترمومتر المقاومة البلاتيني المستخدم في الأغراض الصناعية من بلاتين ذى خصائص مشابهة للبلاتين المستخدم في ترمومترات

المقاومة البلاتينية بالغة الضباطة إلا أنها تكون أقل منها ويسمح هذا الترمومتر باستخدام تيارات كهربائية كبيرة نسبياً أثناء القياس ويناسب الاستخدام عند درجات حرارة تصل إلى ٨٠٠ م ولا يصدأ العنصر الحساس (البلاتين) إلا أنه يجب وقايته من التلوث . وأكثر مسببات تلوث البلاتين شيوعاً هو ملامسته للسيليكا أو المواد الحرارية الحاملة للسيليكا مع وجود جو مختزل ، وذلك أن السيليكا تتحول إلى السيليكون الذى يكون سبيكة مع البلاتين مما يجعله هشاً . ويمكن استخدام ترمومتر المقاومة البلاتيني لدرجات حرارة منخفضة تصل إلى ٢٠ كلفن (أى ٢٥٣ م) .

#### (ب) ترمومتر المقاومة النيكل :

يستخدم ترمومتر المقاومة النيكل فى القياسات الصناعية ويتميز برخص ثمنه ويصلح للاستخدام فى المدى ما بين - ٧٥ إلى + ١٥٠ م وهو أقل إستقراراً عن البلاتين . ويعتمد حد الخطأ فى قراءاته على دائرة القياس المستخدمة ومدى القياس ، وحد الخطأ يساوى  $\pm 0.3$  م فى حالة استخدام القنطرة المتوازية فى قياس المقاومة .

#### (ج) ترمومتر المقاومة النحاسي :

يعتبر النحاس مادة ممتازة للاستخدام فى ترمومتر المقاومة إذ أن معامل درجة الحرارة للمقاومة فيه أكبر قليلاً من معامل البلاتين كما يمكن الحصول عليه نقياً ويمكن تمثيل العلاقة بين مقاومة النحاس ودرجة الحرارة بالمعادلة التالية :

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

وبفضل هذه العلاقة يمكن قياس الفرق فى درجة الحرارة بدقة تصل إلى  $\pm 0.05$  م بواسطة استعمال ترمومتري مقاومة نحاسين ، ومعوض لتعويض مقاومتيهما ، إلا أنه يعيب ترمومتر المقاومة النحاس ميل النحاس للتأكسد فى درجات الحرارة العالية وصغر مقاومته النوعية ، بالمقارنة مع البلاتين أو النيكل ، ويكون حجمه كبيراً إلا إذا

استخدم سلك رفيع من النحاس ، وهذا يؤدي من ناحية أخرى إلى بطء في استجابته للتغير في درجة الحرارة . وفي العادة تكون مقاومة ترمومتر المقاومة النحاس هي ١٠ أوم عند ٢٥ م . وتتميز هذه الترمومترات باستقرار جيد في معايرتها ، وعلى ذلك فإنها تحتفظ بدقتها زمنياً طويلاً بشرط عدم تعدى درجة الحرارة القصوى التي يوصى بها صانع الترمومتر .

#### (د) ترمومتر المقاومة غير المعدني (الثرمستور) :

يصنع الثرمستور من أكاسيد معدنية أو من خليط منها ، ويستعمل لهذا الغرض أكاسيد الكوبالت والنحاس والحديد والمغنسيوم والمنجنيز والنيكل واليورانيوم والزنك والتيتانيوم والقصدير . وطريقة تصنيع الثرمستور سهلة إذ يؤخذ أحد مساحيق الأكاسيد المعدنية أو مخلوط منها ثم يضغط بحيث يعطى الشكل المطلوب ثم تسخن إلى درجة حرارة تكفي لإعادة تبلورها ، ويتم عمل نهايات التوصيل الملامسة للثرمستور بأن يدخل فيها سلكاً توصيل قبل حرقها أو بالطلاء الكهربائي . وفي العادة يكون الثرمستور المستخدم في القياسات على شكل خرزة قطرها ٢,٥ - ٠,٥ مم . مغطاة بطبقة رقيقة من الزجاج لتقليل تغير مكوناتها في درجات الحرارة العالية ، أما الثرمستور المستخدم في أعمال التحكم فيكون على هيئة قرص يتراوح قطره من ٥ إلى ٢٥ مم أو قضيب يتراوح قطره ما بين ٠,٧٥ - ٦ مم وبطول يصل إلى ٥٠ مم . ويمكن تمثيل العلاقة بين مقاومة الثرمستور ودرجة الحرارة المطلقة بالمعادلة التالية :

$$M = A e^{B/T}$$

حيث م هي المقاومة ، أ ، ب ثابتان تقريبا في مدى صغير من درجات الحرارة ، د هي درجة الحرارة المطلقة ويتميز الثرمستور بأن معامل درجة الحرارة له كبير ، لهذا يمكن قياس فروق في درجات الحرارة تصل إلى ٠,٠٠١ م ولكن يجب الأخذ في الاعتبار أن دقة الثرمستور قد تتغير بمرور الوقت .

### ٢/٢/٦/٣ خصائص ترمومترات المقاومة :

المدى : من - ٢٦٩ إلى ٦٣٠°م      بالنسبة لترمومترات المقاومة البلاتين القياسية  
 من صفر إلى ١٠٦٤°م      بالنسبة لترمومترات المقاومة البلاتين القياسية  
 من - ١٨٢ إلى صفر°م  
 من - ١٩٥ إلى ١٢١°م      بالنسبة لترمومترات المقاومة النحاسية  
 من - ٤٠ إلى ١٢١°م      بالنسبة لترمومترات المقاومة النيكل

الضبط : توفر ترمومترات المقاومة أكبر ضبطاً في مداها المفيد ، فدرجات الحرارة المقاسة بواسطة ترمومتر المقاومة البلاتين البالغ الضبط تكون قابلة للاستعادة إلى  $+0,001^{\circ}\text{C}$  ، وبالنسبة لترمومتر المقاومة البلاتين الصناعي فإنه يستعيد قراءاته في حدود  $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$  .

أما ترمومترات المقاومة المصنوعة من المعادن غير النفيسة فإنها تستعيد درجات الحرارة إلى  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$  .

الدقة :  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$  بالنسبة لترمومتر المقاومة البلاتيني بالغ الضبط .

الاستجابة : زمن استجابة ترمومتر المقاومة البلاتيني الصناعي هو ١٥ ثانية . وزمن استجابة ترمومتر المقاومة النحاس أو النيكل هو ٤٠ ثانية . وإذا استخدم لأى من هذه الترمومترات جيب واق فإن زمن الاستجابة يزيد على ضعف الزمن الخاص به بدون جيب .

### ٣/٢/٦/٣ معايرة ترمومترات المقاومة المستخدمة في الصناعة :

تم معايرة ترمومترات المقاومة المستخدمة في الصناعة بطريقة المقارنة مع ترمومتر مقاومة قياسى .

### ٧/٣ ترمومترات الإشعاع :

يتكون ترمومتر الإشعاع من نظام بصرى يستخدم في اعتراض وتركيز جزء معين من

الطاقة المشعة من الجسم المطلوب قياس درجة حرارته وعنصر لقياس درجة الحرارة .

### ٣ / ٧ / ١ أساس تشغيل بيرومترات الإشعاع :

توجد ظاهرة معروفة هي أن كل جسم يشع إشعاعاً عند درجات الحرارة العالية ، وشدة هذا الإشعاع ترتبط بعلاقة محددة مع درجة حرارة الجسم لذلك فإنه يمكن عن طريق قياس شدة هذا الإشعاع ، تعيين درجة حرارة الجسم . وقد يشمل هذا القياس جميع أطوال الموجات للإشعاع الصادر من الجسم أو منطقة (أو مناطق) محددة من هذا الطيف . وبصفة عامة فإن شدة الإشعاع لا تعتمد على درجة حرارة الجسم فقط بل إنها تعتمد على نوع مادة المصدر المشع ، فمثلاً الكربون المتوهج يبدو متألّقاً للعين حوالى ثلاثة أمثال تألق البلاتين المتوهج عندما يكون الاثنان فى درجة حرارة واحدة وبعبارة أخرى ذلك بالقول أن قدرة الانبعاث فى الكربون هى ثلاثة أمثال قدرة الانبعاث فى البلاتين عندما يكونان فى درجة حرارة واحدة . وتسمى المادة ذات أعلى قدرة انبعاث « الجسم الأسود المشع » ويشار إليها بالجسم الأسود ، وهذا الجسم الأسود تكون انبعاثيته مساوية للواحد الصحيح . وبمقتضى هذا التعريف تكون قدرة انبعاث أية مادة حقيقية أقل من الواحد الصحيح ، ويعرف الجسم الأسود أيضاً بأنه جسم يمتص جميع الإشعاعات الساقطة عليه عند جميع درجات الحرارة دون أن ينتقل أو يعكس أى قدر من هذه الطاقة الشعاعية أبداً كان طول الموجة أو اتجاه سقوط الإشعاع أو الاستقطاب . وهذا الجسم يبدو لنا أسود مطلق السواد عندما يكون بارداً لأنه يمتص كل الضوء الساقط عليه ، وتعرف قدرة إمتصاص سطح الجسم الأسود بأنها جزء من الإشعاع الذى يمتصه الجسم الأسود ، وهى لذلك تساوى الواحد الصحيح . ويمكن تحقيق الجسم الأسود عملياً بتسخين محتوى أجوف ، ثم ملاحظة الإشعاع من فتحة أو ثقب فى جداره . وتعتمد شدة الإشعاع المنبعث من هذه الفتحة على درجة الحرارة وحدها وليس على نوع المادة الموجودة داخل هذا المحتوى .



### قانون «استفان بولترمان» :

يعبر عن القدرة الكلية أو الدفق الإشعاعي لجميع الموجات (ق) المشعة من وحدة المساحة من جسم أسود تام بالعلاقة التالية :

$$Q = S D^4$$

حيث س ثابت «استفان بولترمان» ، د درجة الحرارة بالكلفن (= درجة الحرارة المئوية + ٢٧٣) .

وقد أمكن قياس درجة حرارة مصدر مشع بقياس شدة إشعاعه وتطبيق قانون «استفان بولترمان» .

وإذا كان لدينا جسم درجة حرارته  $D_1$  معد بحيث يستقبل إشعاعاً صادراً من مصدر درجة حرارته  $D_2$  فإن الجسم يتلقى طاقة حرارية بمعدل س  $D_2^4$  ويصدر في نفس الوقت حرارة بمعدل س  $D_1^4$  ، وإذا كان  $D_2$  أكبر كثيراً عن  $D_1$  فإن الجسم يكسب حرارة بمعدل س  $(D_2^4 - D_1^4)$  ويمكن إهمال  $D_1^4$  لأنها تكون أصغر كثيراً عن  $D_2^4$  ويكون معدل الحرارة المكتسبة مساوياً س  $D_2^4$  أى أن هذا المعدل يتناسب مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة للمصدر المشع . وقد بنيت معظم ترمومترات الإشعاع الكامل على قانون «استفان بولترمان» .

### قوانين «فين» :

يعتمد تشغيل البيرومترات البصرية على ظاهرة أن الجسم يصدر إشعاعاً عند جميع الموجات وأن شدة الإشعاع وتوزيعه الطيفي ترتبط بعلاقة محددة مع درجة حرارة الجسم ذاته ، إذن يمكن تعيين درجة حرارة الجسم عن طريق قياس إشعاعيته ، وفي حالة البيرومترات البصرية فإنه يتم قياس الإشعاعية في الجزء المرئي من الطيف ويكون ذلك عند طول موجة مقداره ٠,٦٥ ميكرومتر وتسمى العلاقة بين الإشعاعية ودرجة الحرارة بقانون «فين» .



وإذا سخن جسم ما فإنه يبدو أن لونه يتغير ، ويرجع ذلك إلى أن الطاقة الكلية وتوزيع الطاقة المشعة فيما بين أطوال الموجات المختلفة يتغير بارتفاع درجة الحرارة ، وعندما تكون درجة حرارة الجسم ٥٠٠° م فإن الجسم يكون أحمر اللون بوضوح وبارتفاع درجة الحرارة إلى ٧٠٠° م فإن اللون الأحمر الواضح يتحول إلى أحمر باهت ، وعند ٩٠٠° م يصبح أحمر مثل لون الكريز ويتحول إلى البرتقالي عند ١١٠٠° م ويصير أبيض اللون عند درجات حرارة أعلى من ١٤٠٠° م وذلك لأن الجسم يشع حينئذ جميع ألوان الطيف المرئي .

وقد وجد أن طول موجة الإشعاع ذى أقصى شدة يقصر كلما ارتفعت درجة الحرارة ويعبر عن ذلك بما يعرف باسم قانون «فين» للإزاحة .

$$L \text{ في } D = \text{ثابت} = 2898 \text{ ميكرومتر كلفن} .$$

حيث  $L$  هو طول الموجة المناظر لشدة الإشعاع القصوى ،  $D$  درجة الحرارة بالكلفن . ويعبر عن القيمة الحقيقية الإشعاعية الطيفية عند طول الموجة  $L$  في  $Q$  بما يعرف بقانون فير، الثاني

$$L \text{ في } Q = \text{ثابت} \times D$$

حيث  $L$  هي القيمة القصوى للإشعاعية الطيفية عند طول أية موجة أى قيمة الإشعاعية عند  $L$  ،  $D$  هي درجة الحرارة بالكلفن ، ويجب ملاحظة أن الإشعاعية القصوى عند طول موجة معينة هي التى تتناسب مع  $D$  أما الإشعاعية الكلية لجميع أطوال الموجات فهي تتناسب مع  $D^4$  حيث إنها تعطى بقانون «استفان بولترمان» . وقد استنبط «فين» أن التركيز الطيفي للإشعاعية أى الإشعاع المنبعث من وحدة الزاوية الفراغية لكل وحدة مساحة من فرجة صغيرة من محتوى ذى درجة حرارة منتظمة ، وفي اتجاه عمودى على هذه المساحة في مدى أطوال الموجات ما بين  $L$  ،  $L + \delta L$

يمطى بالعلاقة التالية :



### ٣/٧/٢ أسس قياس درجات حرارة الأجسام الساخنة :

يمكن قياس درجة حرارة الجسم الساخن بإحدى الطرق الثلاث التالية :

أولاً : تقاس الإشعاعية الكلية بواسطة ترمومتر الإشعاع الكلي الذي يسمى أيضاً بيرومتر الإشعاع الكامل وهذا البيرومتر يتلقى أقصى مقدار من الطاقة المشعة عند جميع أطوال الموجات ، وبصفة عامة يكون العنصر الحساس (الكاشف) قادراً على قياس الإشعاع في مدى واسع من أطوال الموجات ، ولكن أطوال الموجات الفعلية المستقبلية تحددها المواد المستخدمة في النظام البصري وتكون الطاقة المستقبلية ممثلة بالمساحة الواقعة تحت المنحنى الممطى في شكل رقم (١٥) وهي تعطى بقانون «استفان بولتزمان» ، ومن ثم يمكن حساب درجة حرارة المصدر .

ثانياً : يمكن قياس الإشعاعية الطيفية لجسم ساخن عند طول موجة معطاة بواسطة البيرومتر البصري وهذا البيرومتر البصري يتلقى الإشعاع عند طول موجة واحدة مقداره ٠,٦٥ ميكرومتر (شعاع أحمر اللون) وفي العادة يستجيب الترمومتر - الحزمة مقدار إتساعها ٠,٠١ ميكرومتر عند ٠,٦٥ ميكرومتر ويمكن الاستعانة بالمنحنيات الموضحة في الشكل (١٥) لمعرفة تغير الطاقة عند هذه الموجة مع درجة حرارة المصدر ، وبالتالي تعرف درجة حرارة المصدر .

ثالثاً : يمكن قياس إشعاعية جسم ساخن في حزمة من أطوال الموجة بواسطة عنصر مستقبل مثل خلية كهروضوئية ، وتعتمد الحزمة على نوع العنصر المستقبل الحساس المستخدم ، ويعاير هذا النوع من البيرومترات بتوجيهها بحيث يتم رصد قبيلة مصباح مصنوعة من شريط من التنجستن مغلومة درجة حرارتها بدلالة التيار الكهربائي المار بها . مما سبق يتضح أنه يمكن تصنيف بيرومترات الإشعاع إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي :

بيرومترات الإشعاع الكلي

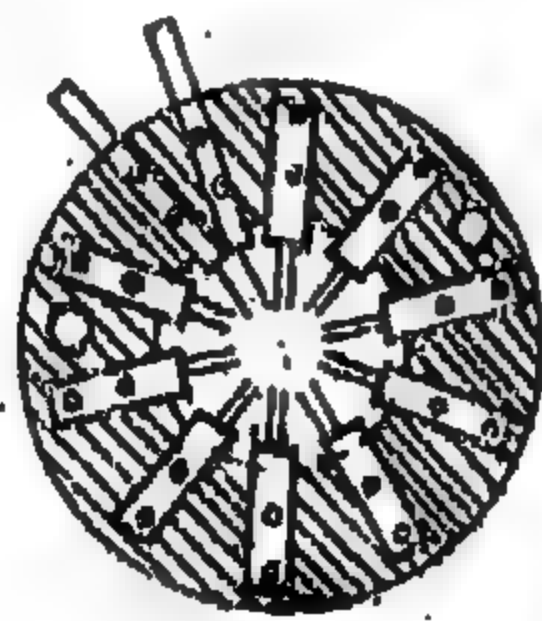
البيرومترات البصرية

البيرومترات الكهروضوئية .

### ٣/٧/٣ بيرومترات الإشعاع الكلى :

يعمل هذا النوع من البيرومترات بتركيز الإشعاع الصادر من الجسم المطلوب قياس درجة حرارته على عنصر حرارى ، ويكون هذا العنصر مزدوجة حرارية أو ثرموبيل (مجموعة من المزدوجات موصلة على التوالي) أو عنصر مقاومة عبارة عن شريحة رقيقة من البلاتين عادة ، وبذلك يمكن قياس درجة الحرارة المطلوبة كما سبق أن أوضحنا .

وفي قطاع الصناعة يكثر استعمال بيرومترات الإشعاع ذات الثرموبيل نظراً لما تتميز به من استقرار لخصائصه الحرارية الكهربائية لأن الوصلات الساخنة يندر أن تصل إلى درجة حرارة أعلى من عدة مئات من الدرجات المئوية ، ولا تتعرض المزدوجات للأجواء الملوثة للأفران ، وبالإضافة إلى استقرار خصائص الثرموبيل فهي أيضاً ذات استجابة مماثلة لطاقة الإشعاع الداخلى بغض النظر عن طول الموجة فى المدى ٠,٣ - ٢٠ ميكرومتر إلا أنه يعيب الثرموبيل ببطء سرعة استجابتها نسبياً وهى التى تعتمد على كتلة عناصر المزدوجات وعلى معدل انتقال الحرارة من الوصلات الساخنة إلى الباردة . ويوضح الشكل رقم (١٦) ثرموبيل نموذجياً مستخدماً فى التطبيقات الصناعية بكثرة



شكل رقم (١٦)  
ثرموبيل بيرومتر الإشعاع

وهو يستجيب لـ ٩٨ ٪ لأى تغير متدرج فى الإشعاع الداخلى فى خلال ثانيتين فقط ، ويمكن الحصول على أنواع خاصة من الثرموبيلات يقل زمن الاستجابة فيها إلى نصف ثانية فقط بدلاً من ثانيتين ، غير أن ما تنتجه من قوة دافعة كهربائية يكون منخفضاً . ومن المرغوب فيه ألا تعتمد بيانات بيرومتر الإشعاع بالنسبة لمدى كبير نسبياً من درجات الحرارة ، على المسافة بين المصدر الذى تقاس درجة حرارته وبين البيرومتر ،

وبالإضافة إلى ذلك ألا تعتمد ، في حدود معقولة ، على حجم المصدر وذلك في حدود معقولة . وقد أمكن تحقيق هاتين الخاصيتين باستعمال مرآة واحدة أو اثنتين أو باستعمال عدسة ، وبالإضافة إلى ذلك فإن المرآة والعدسة تركزان الإشعاع على العنصر الحساس مما يؤدي إلى زيادة حساسية الجهاز ، وقد تكون المرآة أو العدسة مثبتة أو قابلة للتحريك . ويتطلب البيرومتر أن يكون حجم الجسم الساخن (مصدر الإشعاع) كافياً بحيث تغطي صورته العنصر الحساس . ويختلف حجم هذا الجسم تبعاً للمسافة بينه وبين البيرومتر ويحدد هذا الحجم في جداول يعدها صانع البيرومتر ، فمثلاً يتطلب أن يكون الجسم الساخن ذا قطر حوالى ٦٣ مم عند قياس درجة حرارته بواسطة بيرومتر على مسافة ١,٢ م منه . وعندما توضع عدسة فيما بين المصدر والمستقبل في بيرومتر فإن العدسة تحد عرض حزمة الإشعاع المستقبلية وبصفة عامة فإنها تسمح بانتقال موجات الضوء القصيرة وتمتص نطاق الأشعة دون الحمراء ، وهذا يؤدي إلى خفض كمية الطاقة المستقبلية وبالتالي يقلل حساسية البيرومتر غير أن هذا لا يؤدي إلى خطأ خطير عند قياس درجات الحرارة العالية ، ولكنه يصير مشكلة صعبة عند درجات الحرارة المنخفضة ، وذلك لسببين اثنين ، فالجسم يشع عند ١٠٠ م أقل من ٠,٠١ مما يشعه عند ١٠٠٠ م ، والإشعاع عند ١٠٠٠ م يكون بصفة رئيسية ذا موجات طويلة تمتص بزجاج العدسة ، وكتيجة لذلك فإن الإشعاع المار عند ١٠٠ م يكاد يبلغ ٠,٠٠٥ من الإشعاع الذى يمر من الزجاج عند ١٠٠٠ م ، وهذا يقتضى عدم استعمال عدسات من الزجاج والبحث عن مواد بديلة ، ومن بين المواد التى يمكن استعمالها لدرجات الحرارة المنخفضة البيركس وفلوريد الكالسيوم ، والسيليكا . كما يمكن استخدام الكوارتز لقياسات المدى المتوسط من درجات الحرارة . وبذلك فإن ترمومترات أو بيرومترات الإشعاع الكلى لا تكون مناسبة لتغطية مدى قياس المزدوجات الحرارية فقط ، وإنما يمكن استخدامها لقياس درجات حرارة أعلى مما يمكن للمزدوجات قياسها ، ومع ذلك فإن بيرومتر الإشعاع الكلى لم يتقرر استعماله لاستعادة أى جزء على المقياس الدولى العملى لدرجات

الحرارة ونظراً لأن العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية الناتجة ودرجة حرارة الجسم المرصود تعتمد على تصميم البيرومتر ومواد صنعه وفي نفس الوقت لا يمكن التعبير عنها بمعادلة عامة كما هو الحال بالنسبة لترمومتر المقاومة والمزدوجة والبيرومتر البصري ، فإنه لا يمكن إدراج بيرومتر الإشعاع ضمن أئمة قياس درجات الحرارة ، بل إنه يصنف فقط على أنه جهاز قياس صناعي مناسب لقياس درجات الحرارة حتى ١٥٠°م .

إستعمال وتركيب بيرومتر الإشعاع : عند استعمال بيرومتر الإشعاع لقياس درجة الحرارة فإنه يجب اتخاذ كافة الاحتياطات الضرورية لتقليل مصادر الأخطاء وبعض هذه المصادر يمكن التحكم فيها ، أما البعض الآخر فيمكن تقليلها إلى أقل حد ممكن بالأخذ في الاعتبار تفاصيل التركيب والاستعمال ، وعلى سبيل المثال فإن الأخطاء الناتجة عن تغير في القدرة الابتعائية للجسم المرصود سوف تظل موجودة عندما يكون الجسم غير أسود ولكن إذا تم الرصد لدرجة حرارة الجسم من خلال أنبوبة مغلقة من طرفها الآخر ، ومن فجوة عميقة في جسم ساخن فإنه يمكن إهمال الابتعائية . وهناك أيضاً خطأ يعزى إلى وجود ثاني أكسيد الكربون أو بخار الماء ، أو أية غازات غير مرئية ذات حزم امتصاص للأشعة دون الحمراء وهذا الخطأ يمكن إهماله حيث إن الغاز أو البخار غير مرئي للعين ولكن الدخان على العكس من ذلك لا يمكن إهماله حيث إنه مرئي إلا أن الخطأ الناتج عنه لا يكون خطيراً .

وثمة مصدر آخر للخطأ هو ما يحدث أحياناً من امتلاء الأنابيب المغلقة من أحد طرفيها ، بغاز أو دخان ، لذا فإنه يكون من الضروري في مثل هذه الحالة طرد الغازات الماصة للإشعاع ، بصورة مستمرة ، بواسطة تيار هادئ من الهواء . وأيضاً فإنه إذا كان لدينا فرن به غازات ساخنة ذات درجة حرارة أعلى من درجة حرارة سطح جسم بهذا الفرن والمطلوب رصد درجة حرارته . فإن الغازات سوف تصدر إشعاعاً يدخل بيرومتر الإشعاع مع الإشعاع الصادر من الجسم ، ويؤدي ذلك إلى الحصول على قراءة عالية لدرجة الحرارة ، ولتجنب هذا الخطأ تستخدم أنبوبة مفتوحة الطرف تمتد عبر جدار



الفرن بحيث يقترب أحد طرفيها من سطح الجسم الساخن ، ويمرر بها تيار هادئ من الهواء أو من غاز خامل غير ماص . وفي بعض التطبيقات ، يكون المطلوب قياس درجة حرارة جسم موضوع في فرن محكم الغلق للمحافظة على جو من الهيدروجين أو أى غاز آخر بداخله ، لذلك تستخدم نوافذ حتى يمكن رصد الجسم بواسطة بيرومتر الإشعاع ، وهذه النوافذ تؤدي إلى حدوث أخطاء كبيرة سواء كانت مصنوعة من زجاج أو من كوارتز وهذه الأخطاء لا يمكن تجنبها ولكن يلزم تعيينها عملياً وإجراء التصحيح المناسب للقراءات . وهناك خطأ آخر يشبه خطأ النافذة ، وهو ينتج عن وجود تراب أو مواد غريبة على النوافذ أو العدسات أو المرايا بالبيرومتر . وهذا الخطأ يمكن التخلص منه عن طريق التنظيف الدورى للأجزاء المذكورة .

وقد يؤدي امتصاص الإشعاع في الجو البارد ، الواقع بين الفرن والبيرومتر ، إلى أخطاء في قراءات درجة الحرارة ولكي يضمن أن هذا المصدر لا ينتج خطأ يزيد على ١٪ من درجة الحرارة المقاسة حتى في الأيام الرطبة والحارة فيجب ألا تزيد المسافة بين عدسة البيرومتر والفرن على ١,٥ م إذا كانت العدسة من الزجاج ، ١ م إذا كانت العدسة سيليكاً ، ٠,٦٠ م إذا كانت العدسة من الفلوريت .

#### معايرة بيرومتر الإشعاع :

يمكن معايرة بيرومتر الإشعاع بالنظر إلى محتوى جسم أسود معلوم ورصد درجة حرارته من خلال فتحة خاصة . وقد صنع اتحاد بريطاني لأبحاث الحديد والصلب نوعاً خاصاً من الأفران صالحاً لهذا الغرض . ويتكون هذا الفرن من كرة نصف قطرها ١٥ سم من مادة عاكسة ناشرة ، ويستخدم لهذا الغرض الصلب الذى لا يصدأ وسبيكة نيكل كروم (٨٠-٢٠) لدرجات الحرارة حتى ١٣٠٠°م ويستخدم مسحوق الجرافيت لدرجات الحرارة حتى ٣٠٠٠°م بشرط وجود جو من الأرجون بالفرن لمنع تأكسد الجرافيت . والقلب الكروى للفرن ملفوف عليه بانتظام بعنصر تسخين كهربائى



مناسب . وتكون الفتحة التي ينظر من خلالها بواسطة البيرومتر بقطر حوالى ٦٥ مم لدرجات الحرارة حتى ١١٥٠ م ، وبالنسبة لدرجات الحرارة الأعلى يكون القطر حوالى ٤٥ مم . ويوضع بالفرن عادة مزدوجتان حراريتان إحداهما عند مؤخرة الفرن والثانية فوق فتحة الرؤية مباشرة وهما تستخدمان للدلالة على ما إذا كانت درجة الحرارة منتظمة بالفرن أم غير ذلك . وتم معايرة البيرومتر بالمقارنة المباشرة مع المزدوجة أو مع بيرومتر قياسى آخر .

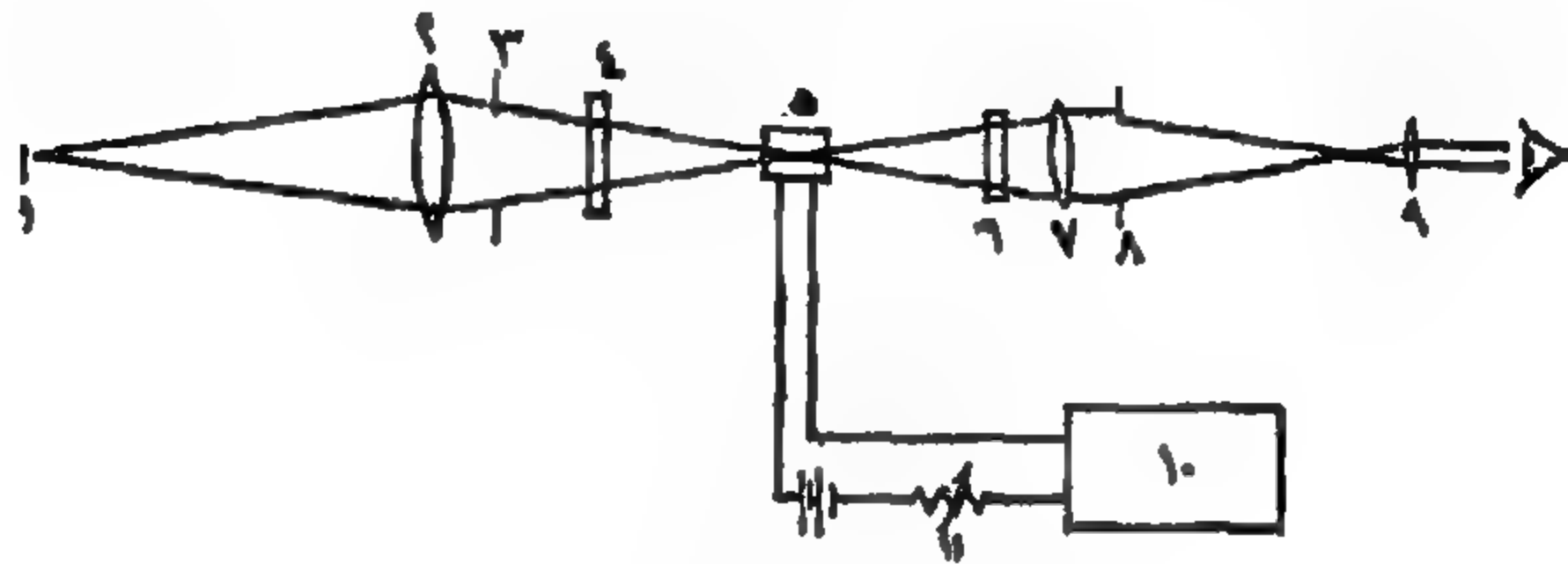
### ٣ / ٧ / ٤ البيرومترات البصرية :

يمكن تصنيف البيرومترات البصرية إلى قسمين ، يطلق على القسم الأول البيرومترات البصرية اليدوية والقسم الثانى البيرومترات البصرية التلقائية . ويعمل القسم الأول منها فى نطاق الطيف المرئى وتستخدم العين ككشاف للمقارنة بين المصدر المقيس ومصدر قياس معلوم ، أما القسم الثانى فهو يشبه القسم الأول فى مبدأ عمله غير أن كشف الإشعاع يتم بكشاف كهروضوئى .

### (١) البيرومترات البصرية اليدوية :

وتشمل البيرومتر البصرى ذا الفتيلة المختفية ، والبيرومتر ذا مصباح مقارنة بإشعاع ثابت . ويوضح الشكل رقم (١٧) الأجزاء الرئيسية للبيرومتر ذى الفتيلة المختفية وعند توجيهه نحو هدف (مصدر) لرصد درجة حرارته فإن عدسة الشيئية تعطى صورة حقيقية له فى مستوى فتيلة مصباح قياسية ويحتوى البيرومتر على عدسة ميكروسكوبية ، وأخرى عينية ، تقومان بتكبير صورة المصدر والفتيلة بالنسبة للراصد . ويستخدم المرشح الأحمر الواقع بين العدسة العينية والمصباح للحصول على ضوء وحيد اللون تقريباً للراصد . وعند القيام بالرصد يضبط تيار فتيلة المصباح بواسطة المقاومة المتغيرة إلى أن تصبح استضاءة صورة الجزء المرجعى من الفتيلة مساوية

لاستضاءة صورة الهدف وتختفى تفاصيل الجزء المرجعى من الفتيلة فيما يحيط بها من مجال عندما يكون المصباح مضبوطاً بطريقة مناسبة . ويقاس تيار المصباح بواسطة ملى أميتر مدرج بدلالة درجات الحرارة أو بطريقة مقياس الجهد الذى يكون مدرجاً أيضاً بدلالة درجات الحرارة . ويمكن توسيع مدى قياس البيرومتر باستخدام

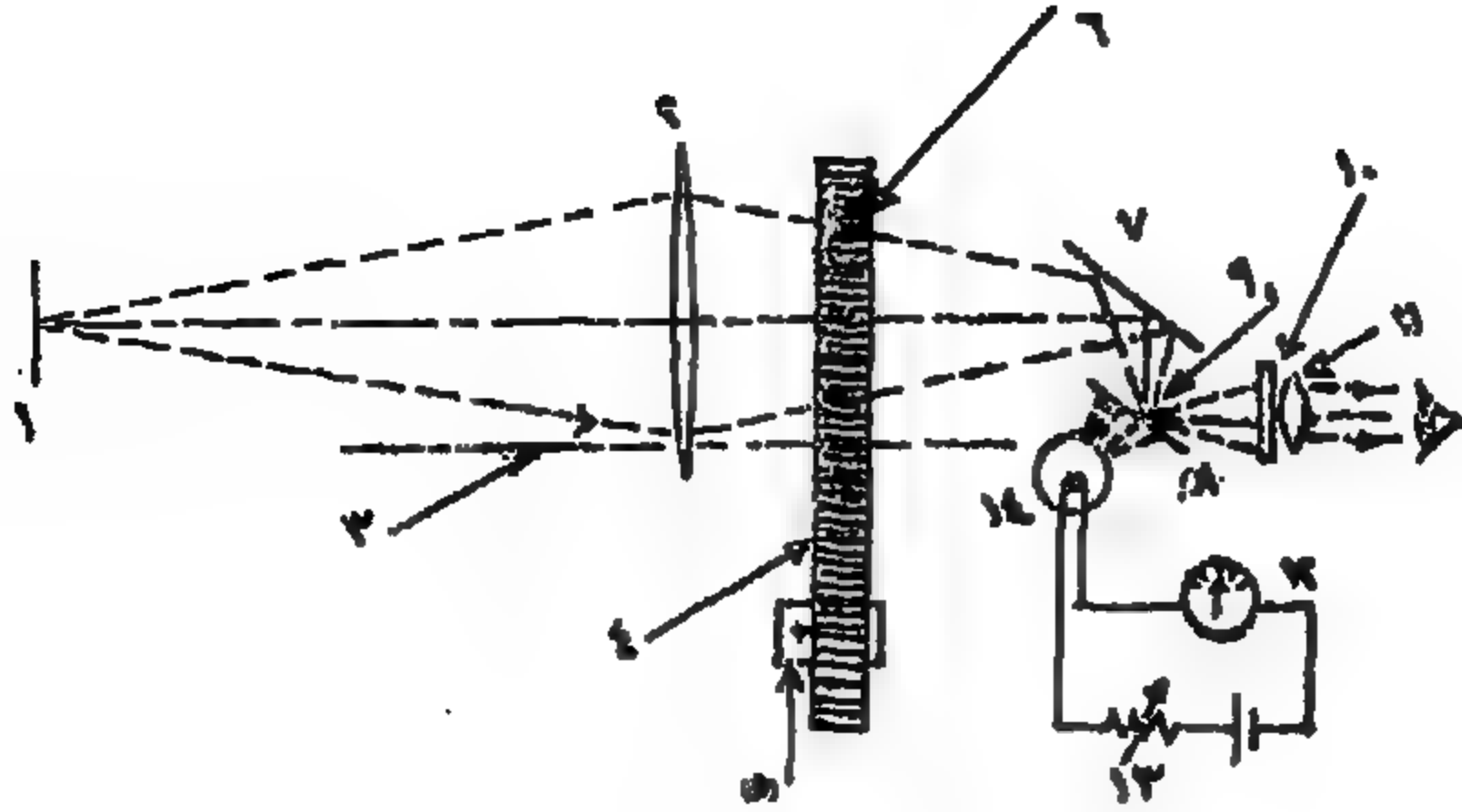


الشكل رقم (١٧)

الأجزاء الرئيسية للبيرومتر البصرى .

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| (١) الهدف الذى تقاس درجة حرارته .                | (٦) مرشح أحمر .                |
| (٢) عدسته الشبكية .                              | (٧) عدسة الشبكية للميكروسكوب . |
| (٣) فتحة الشبكية .                               | (٨) مصدر فتحة الميكروسكوب .    |
| (٤) مرشح امتصاص (يستخدم لدرجات الحرارة العالية . | (٩) عينية الميكروسكوب .        |
| (٥) مصباح البيرومتر .                            | (١٠) جهاز قياس التيار .        |
|  | (١١) ريوسات .                  |

مرشحات امتصاص زجاجية توضع بين الهدف والمصباح ، وذلك دون حاجة إلى فتيلة أخرى خاصة لدرجات الحرارة العالية . ويوجد بالفعل بيرومترات بصرية من هذا النوع تغطى درجات الحرارة فى المدى ٧٦٠ - ١٠٠٠ م ، إلا أن معظم التطبيقات العملية تكون أدنى من ٢٥٠٠ م . ويطلق أيضاً على البيرومترات ذات الفتيلة المختلفة « البيرومترات ذات مصباح مقارنة متغير ، وذلك لتمييزها عن النوع الثانى من البيرومترات البصرية اليدوية ونقصد البيرومترات البصرية ذات مصباح مقارنة بإشعاع ثابت . ويوضح الشكل رقم (١٨) الأجزاء الرئيسية له ، وفى هذا



الشكل رقم (١٨)

بيرومتر ذو مصباح مقارنة بإشعاع ثابت .

(١) هدف .

(٢) عدسة الشيئية .

(٣) محور دوران الشقين الضوئى .

(٤) تدريج معاير .

(٥) مؤشر ثابت لبيان درجة الحرارة على التدريج .

(٦) شقين ضوئى .

(٧) مرآة م .

(٨) مرآة (٢م) .

النوع تشتعل فتيلة المصباح عند استضاءة ثابتة يتم الحصول عليها بضبط التيار المار في المصباح على قيمة قياسية بواسطة ريوستات وملى أميتر . ويضاهى إشعاع الهدف بإشعاع فتيلة المصباح عن طريق منشور استقطاب وغشاء إيريس أو وسيلة امتصاص مثل سفين زجاجى دائرى يوضع بين الهدف والمصباح ، وهذا السفين يخفض نصوع الضوء المشع من الهدف بحيث يضاهى نصوع بقعة على شاشة زجاجية مسنفرة (مضاءة بواسطة المصباح) في مجال رؤية العينية . ويضبط تيار المصباح على القيمة المحددة الخاصة بها ويركز الجهاز على الهدف ويدار السفين إلى أن تختفى صورة البقعة في صورة الهدف . وتقرأ درجة الحرارة مباشرة على تدريج مرتبط بالسفين ويحصر المرشح الأحمر في العينية أطوال الموجات المستخدمة في حزمة ضيقة . ومدى قياس

هذا النوع من البيرومتر هو ٧٦٠ - ٢٨٧٠ م . وتعتمد ضبطة القراءات المأخوذة بالبيرومترات البصرية اليدوية إلى حد كبير على خبرة ومهارة الراصد فمثلاً يستطيع الراصد العادى كشف عدم المضاهاة فى النصوص المكافئ لـ ١,٠٪ أو ٢,٠٪ من درجة الحرارة ١٠٩٥ م وما فوقها تبعاً لظروف الرؤية ، أما بالنسبة لدرجات الحرارة الأقل من ٨٧٠ م فإن ضبطة القراءات تقل بدرجة مطردة بسبب تناقص الإشعاع ، ونقص قدرة العين على التمييز ، فى حين تتناقص الحساسية بسبب تفلطح منحنى التيار الكهربائى ودرجة حرارة المصباح . أما دقة هذه البيرومترات فإنها تعتمد على النظام الضوئى لها وعلى ظروف القياس . فالبيرومترات ذات مدى قياس من ٨٠٠ - ١٢٥٠ م تكون ذات دقة أفضل من  $\pm ٥^\circ \text{ م}$  . والبيرومترات ذات مدى قياس ١١٠٠ - ١٩٠٠ م تكون ذات دقة أفضل من  $\pm ١٠^\circ \text{ م}$  ، وللحصول على دقة عالية يجب أن تكون جميع أجزاء البيرومتر عالية الجودة ومصقوفة ومجمعة بطريقة صحيحة ومناسبة ويجب أن تكون العدسات والمواد المنفذة للضوء خالية من العيوب التى تؤدى إلى تشوه أشعة الضوء أو تفرقها ، ويجب أن تعطى فتيلة التنجستن بالمصباح عند تسخينها نصوعاً منتظماً فى الجزء الواقع فى مجال الرؤية والمستخدم كمرجع للاستضاءة .

#### (ب) البيرومترات البصرية التلقائية :

تعتمد البيرومترات التلقائية فى عملها على أساس مشابه لأساس تشغيل البيرومتر البصرى اليدوى غير أن المقارنة تتم بواسطة كشاف - كهرو - ضوئى بدلاً من العين ، كما أن ضبط تيار المصباح يتم إلكترونياً بنظام توازن صفرى بدلاً من اليد ، ويمكن للكشاف الكهروضوئى كشف إشعاعات ذات ترددات تقع خارج الطيف المرئى وداخله ويمكن عن طريق مرشحات ضوئية تضيق اتساع قراءاته حتى يقع فى مدى الكشاف عند حزمة إشعاع مناسبة . وثمة فارق آخر بين البيرومتر التلقائى

واليدوى أن مصباح البيرومتر التلقائي لا يركب في مستوى صورة الهدف وبذلك فإنه يوجد قطاران ضوئيان منفصلان أحدهما خاص بإشعاع المصباح والآخر بالهدف ، وبالتالي فإن استضاءة فتيلة المصباح لا تكون بالضرورة مساوية لاستضاءة الهدف بالرغم من أن فيض الإشعاع الواصل إلى الكشف من كل منهما يكون واحداً .

#### معايرة البيرومترات البصرية :

أفضل طريقة لمعايرة البيرومتر البصرى هى توجيهه نحو مصباح ذى فتيلة من التنجستن أو مصباح الجسم الأسود المعلومة درجة حرارته بدلالة تيار المصباح . وتم المقارنة بين درجات الحرارة للبيرومتر المختبر وما يتاظرها من درجات حرارة المصباح .

#### مزايا وعيوب البيرومترات - تتميز البيرومترات بما يلى :

(١) طول العمر حيث لا يتعرض أى جزء من البيرومتر لتأثير درجات الحرارة العالية .

(٢) يبين درجة حرارة الجسم المختبر دون أن يؤثر عليها - كما فى حالة الترمومترات الأخرى التى تمتص بصيلائها أو أجزاءها الحساسة جزءاً من حرارة الجسم - وعليه فإنه يمكن استخدامه لقياس درجة حرارة الأسلاك الرفيعة وما شابهها .

(٣) يتم القياس بها بسرعة كبيرة ولا تحتاج للتلامس المباشر مع الجسم المختبر وبذلك أيضاً يمكن قياس درجات حرارة الأجسام المتحركة .

(٤) يمكن الحصول بواسطة البيرومترات البصرية التلقائية على تسجيل لدرجات حرارة الجسم المشع أو التحكم فى درجات الحرارة .  
ومن جهة أخرى فإن للبيرومترات أيضاً عيوبها التالية :

(١) التكاليف عالية .

- (٢) انخفاض الدقة بالنسبة لبيرومترات الإشعاع الكلى .  
 (٣) العامل البشرى مصدر هام للخطأ بالنسبة للبيرومتر البصرى اليدوى .  
 (٤) تنشأ أخطاء فى حالة استعمال البيرومترات البصرية نتيجة وجود نوافذ أو دخان أو غازات متوهجة واقعة ما بين الراصد والجسم المختبر ومثل هذه الأخطاء تكون صعبة التصحيح .

### ٣ / ٨ الميينات اللونية :

يستدل على درجة الحرارة من ألوان أسطح التكوينات الأكسيدية التى تتكون أثناء المعالجة الحرارية للصلب . وقد أمكن إنتاج نوع خاص من السبائك لاستخدامه كمين أو دليل لدرجة الحرارة بواسطة لونها الذى يتغير بطريقة واضحة فى المدى من ٥٠٠ إلى ٨٨٠ م .

### تسجيل توزيع درجات حرارة الأجسام :

يمكن تسجيل توزيع درجات الحرارة للأجسام حتى ٤٥٥ م بواسطة التصوير بالأشعة دون - الحمراء - وفى الصور الناتجة تكون المساحات الأكثر استضاءة هى المساحات ذات درجة الحرارة الأعلى وتقل الاستضاءة كلما قلت درجة الحرارة .



## الباب الرابع

### قياس الرطوبة

كثير من العمليات الصناعية تقتضى توفر نسبة معينة من الرطوبة فى الوسط الذى تتم فيه ، وإلا فإنها لا تتم على الوجه المرضى ، كما أن المنتجات المصنعة تحتاج ، عند تخزينها أو نقلها ، لقدر معين من الرطوبة ، وإلا فإنها قد تفسد ، وفيما يلى بعض الأمثلة التى توضح أهمية قياس الرطوبة والتحكم فيها سواء فى الصناعة أو فى عمليات النقل والتخزين .

#### صناعة الغزل :

تؤثر الرطوبة تأثيراً بالغاً على جميع خصائص الألياف الصناعية والطبيعية ، ففي ظل الجفاف أو انخفاض الرطوبة تصبح الألياف هشة تصعب معالجتها فضلاً عن احتمال تولد شحنات كهربية استاتيكية مما قد يؤدي إلى احتراق الألياف وما حولها ، ومن جهة أخرى فإن زيادة الرطوبة تؤدي إلى تعفن القطن ، وضعف بعض أنواع الأقمشة الاصطناعية ، وزيادة وزن الألياف ، وهذا يؤثر تأثيراً كبيراً فى ثمن سلعة تباع بالوزن .

#### صناعة الورق :

تلعب الرطوبة دوراً كبيراً فى صناعة الورق يشبه دورها فى صناعة الغزل ،

ولا يقتصر تأثير الرطوبة على الورق عند تصنيعه فقط ، بل إنه يمتد في حالات كثيرة إلى استخداماته كما هو الحال عند طبع ألوان مختلفة على الورق .

### عمليات التجفيف :

عدد كبير من عمليات التجفيف يعتمد بدرجة كبيرة على مقدار الرطوبة ، فالرطوبة العالية تؤخر التجفيف ، والرطوبة المنخفضة جداً قد تجعل سطح المادة زائد الحفاف .

### حفظ المواد :

يتم وقاية البضائع المنقولة بحراً من التلف الذى يسببه الماء المتكثف ، بالعمل على أن تظل نقطة الندى لهواء عنابر السفينة أقل من درجة حرارة البضائع ذاتها . وتتوقف نسبة الرطوبة في الأماكن التى تحفظ فيها المنتجات على السفن ، على نوع المنتج المنقول . فعندما يتقل التفاح مثلاً فإنه يلزم تبريده في جو ذى رطوبة عالية حتى لا يصيبه الذبول ، أما اللبن المجفف أو البيض فيلزم حفظه في جو ذى رطوبة منخفضة جداً حتى لا يفسد . وتقاس الرطوبة بتعيين وزن كمية بخار الماء في وحدة الحجم أو بمقارنة كمية بخار الماء الموجودة فعلاً عند درجة حرارة معينة إلى أقصى كمية من بخار الماء يستطيع الهواء احتواءها عند نفس الدرجة ، وفي الحالة الأولى يشار إلى نتيجة القياس بالرطوبة المطلقة أما في الحالة الثانية فيشار إليها بالرطوبة النسبية وهي المستخدمة في معظم التطبيقات الصناعية ، ويعتمد قياسها على الفرق بين قراءتي ترمومترين أحدهما جاف والآخر مبلل أو على تمدد أو انكماش المواد المختلفة أو على درجة الحرارة التى يتكثف عندها بخار الماء أو على درجة الحرارة التى تكون عندها محاليل معينة في حالة توازن .

#### ٤ / ١ قياس الرطوبة النسبية :

تقاس الرطوبة النسبية بواسطة الهيجرومتر أو السيكرومتر ، والهيجرومتر وسيلة تستخدم التغير الفيزيائي أو الكيميائي لبعض المواد عند امتصاصها لبعض الرطوبة ، ومن المعلوم أن معظم الألياف العضوية والطبيعية وأنواع كثيرة من البلورات مثل كلوريد الكالسيوم ذات طبيعة «هيجروسكوبية» أي استرطابية تمتص الماء أو تعطيه للهواء المحيط بها حتى يحدث توازن بينهما . ونتيجة لتغير رطوبتها بما تكسبه أو تفقده من رطوبة فإن أطوالها تتغير ، وتتوقف درجة امتصاص المواد الهيجروسكوبية للرطوبة على كمية بخار الماء الموجودة في الجو أي على الرطوبة النسبية .

ويوجد نوع من الهيجرومترات يسمى الهيجرومتر الكيميائي ، وهو جهاز به أنابيب تحتوي على مادة مجففة ، وعند سحب كمية معينة من الهواء ، وإمرارها على المادة المجففة فإنها تكتسب الرطوبة الموجودة بالهواء ، وبوزن الأنابيب قبل إمرار الهواء وبعده ، يمكن معرفة مقدار بخار الماء الممتص . وبعد ذلك تمرر كمية الهواء ذاتها في أنابيب بها صوف زجاجي به قدر من الماء يكفي لتشبع الهواء . ثم يمرر الهواء مرة أخرى بمجموعة ثانية من الأنابيب المجففة التي يتم وزنها كما في الحالة الأولى قبل وبعد إمرار الهواء بها ، ويحسب الفرق في الوزن وهو يمثل وزن بخار الماء الكافي لتشبع الهواء ، وبذلك يمكن قياس الرطوبة باستخدام المعادلة التالية :

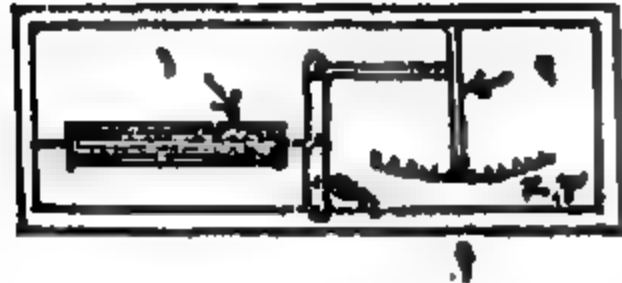
$$\text{الرطوبة النسبية} = \frac{\text{وزن الرطوبة في الهواء}}{\text{وزن الرطوبة اللازمة لتشبع الهواء}}$$

وهذه الطريقة لا تصلح إلا للقياس في المختبرات .

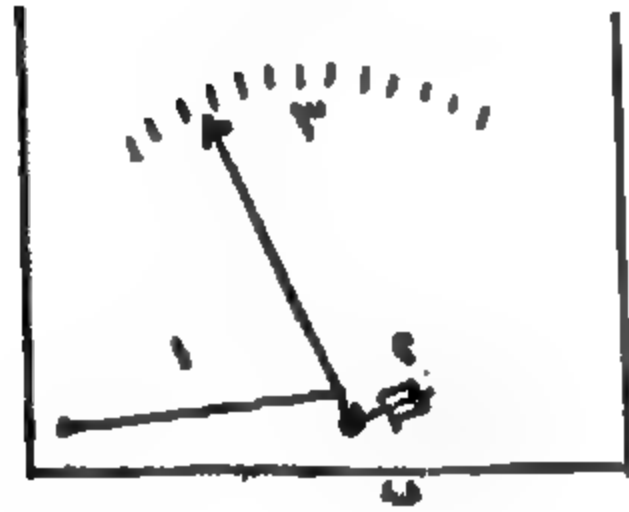
#### ٤ / ١ / ١ هيجرومتر الشعر :

وجد أن شعر الإنسان ذو طبيعة هيجروسكوبية إذ تتغير أبعاده وبصفة خاصة

الطول بتغير رطوبة الجو المحيط به . وقد تمت الإفادة من ذلك في بناء هيجرومتر يطلق عليه هيجرومتر الشعر . ويوضح الشكل رقم (١٩) نوعاً مبسطاً من هذا الهيجرومتر . ويمكن صنع هيجرومترات مماثلة لهيجرومتر الشعرة ولكن باستخدام ألياف أو غشاء أو قطعة جلد أو خشب رفيعة ملتصقة بشريحة معدنية ملفوفة على شكل حلزون .



الشكل رقم (١٩)

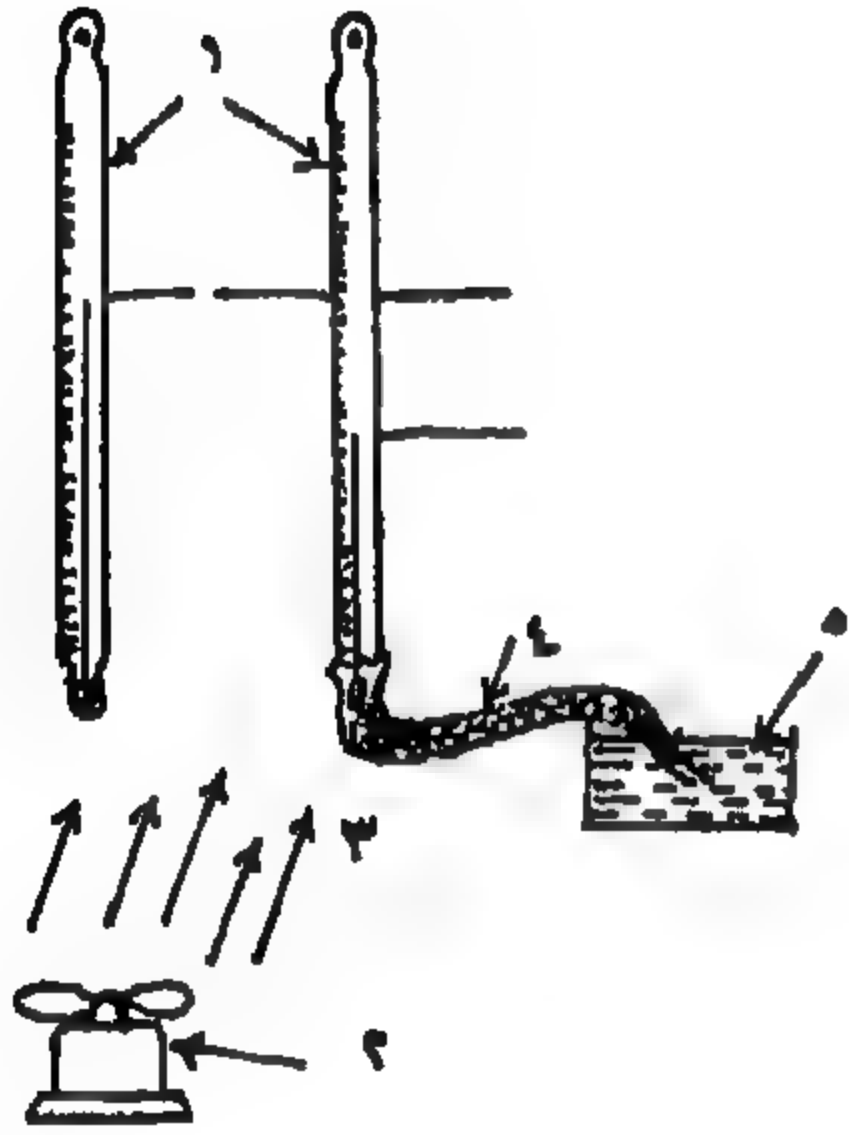


- (١) شعيرات .
- (٢) ريشة .
- (٣) تدريج .
- ١ - شعرة .
- ٢ - ثقل .
- ٣ - تدريج .

#### ٤ / ١ / ٢ مقياس الرطوبة ذو البصيلتين الجافة والمبللة :

توجد ظاهرة معروفة جيداً هي ظاهرة البرودة المصاحبة للتبخر ، فتبخر الأثير أو الكحول من اليد مثلاً تجعل المرء يشعر ببرودة فيها ، ذلك أن التبخر يمتص الحرارة من الجسم ، ويستمر التبخر طالما كان الوسط المحيط بالجسم غير مشبع بالسائل ، وكلما كان الهواء جافاً تبخر السائل بسرعة وبالعكس . وقد أمكن الاستفادة من النقص الناتج في درجة الحرارة بواسطة التبخر لتعيين الرطوبة النسبية ويسمى المقياس المبني على هذه الظاهرة باسم مقياس الرطوبة ذي البصيلتين الجافة ، والمبللة . وهو يتكون من ترمومترين متماثلين تماماً ، وبصيلة أحدهما مغطاة بفتيلة مبللة والآخر جاف ، ويمكن من قراءة درجة حرارة كل من الترمومترين تعيين الخفض في درجة الحرارة نتيجة التبخر . ويلاحظ هنا أنه من الضروري أن تظل البصيلة المبللة مزودة بمقدار

مناسب من الماء ، وإلا فإنه يستحيل ضمان أن قراءة الترمومتر ذى البصيلة المبللة تعطى أقل درجة حرارة ممكنة بالنسبة للظروف السائدة ، كما أنه من الضروري أيضا أن يغير الهواء المحيط بالبصيلة المبللة بمعدل كاف بحيث لا يصير الهواء المجاور للبصيلة مشبعاً ببخار الماء ، وقد أدى هذا المتطلب إلى تصميم نوعين من مقاييس الرطوبة ذى البصيلتين الجافة والمبللة ، أولهما كما بالشكل رقم ٢٠ عبارة عن ترمومتريين منماثلين

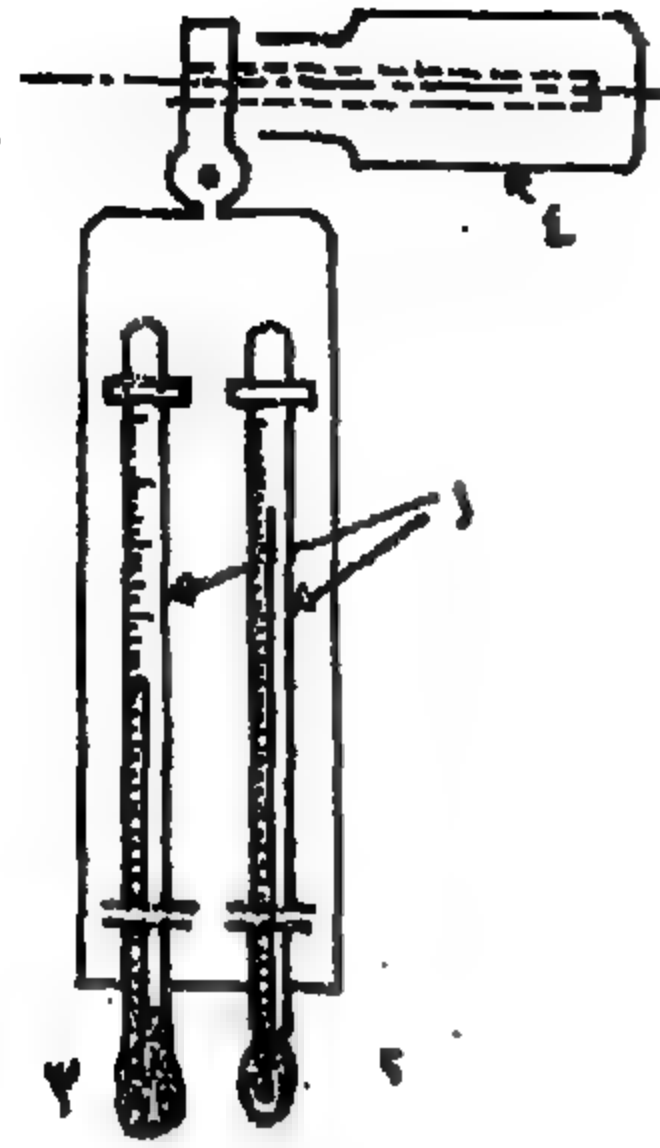


الشكل رقم (٢٠)

مقياس الرطوبة ذو الترمومتريين الجاف والمبلل .

- (١) ترمومتريان .
- (٢) مروحة .
- (٣) تيار هواء .
- (٤) فتيلة مبللة .
- (٥) ماء .

بصيلة أحدهما ملفوفة في فتيلة مبللة مغمورة من أحد طرفيها في خزان ماء ، والأخرى جافة ويغير الهواء حول الترمومتريين بواسطة مروحة كهربائية تعطى هواء سرعته حوالى ٣ م/ث. والتصميم الثانى ، كما بالشكل رقم (٢١) ، يتكون من ترمومتريين مركبين على سنادة واحدة ويمكن إدارتهما حول مقبض باليد . وأحد الترمومتريين ذو بصيلة مغطاة بفتيلة مشبعة تماماً بالماء فإذا أدير الترمومتريان بسرعة معقولة فإن البصيلة المبللة تبرد ويعرف هذا المقياس باسم مقياس الرطوبة الخزروفي أو الحوام . ويتم الحصول على الرطوبة النسبية من الفرق بين درجتى حرارة الترمومتريين والجداول الخاصة بالرطوبة النسبية أو بواسطة مسطرة حاسبة خاصة .



الشكل رقم (٢١)

مقياس الرطوبة الخدروفي .

(١) ترمومترات .

(٢) بصيلة خامدة .

(٣) قبلة مبللة .

(٤) مقبض .

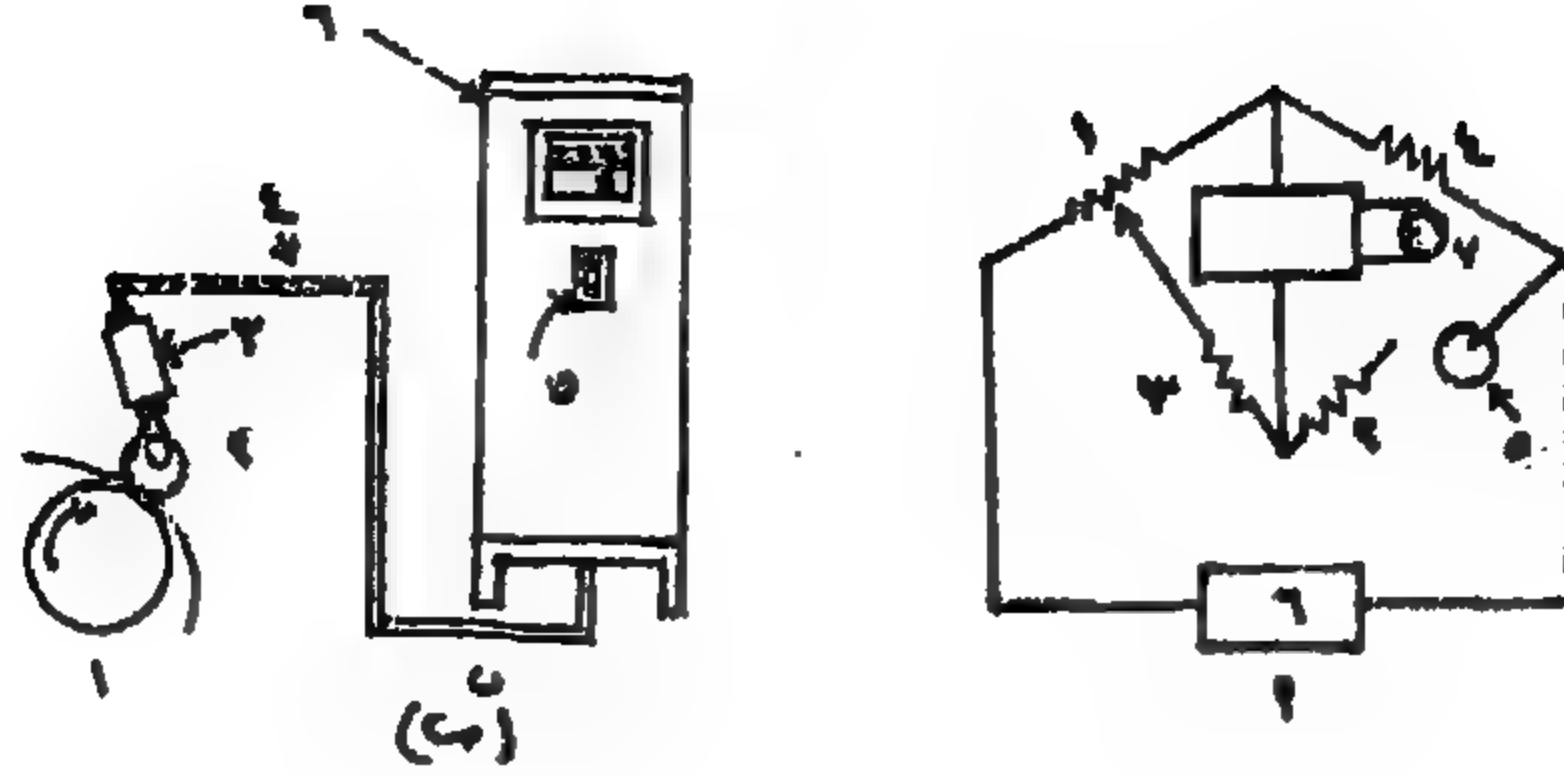
## ٢/٤ قياس الرطوبة في الصناعة :

## مسجلات الرطوبة :

يتم تسجيل الرطوبة في التطبيقات الصناعية بعدة طرق مختلفة منها استخدام ترمومترين زئبقيين ، ولكن المستودعات والأنابيب الشعرية في هذا النوع من الترمومترات ، لا تكون زجاجا وإنما من الصلب وتتصل الأنبوبة الشعرية بأنبوبة « بوردون » التي تتصل بريشة تتحرك على خارطة مدرجة بدرجات الحرارة . وتسجل الريشتان وبلونين مختلفين ، درجات الحرارة وتعين الرطوبة النسبية بملاحظة كل من درجة حرارة الترمومتر الجاف والفرق بين درجة حرارته وحرارة الترمومتر المبلل ، ثم الرجوع إلى الجداول أو الخرائط الخاصة بالرطوبة ، ويوضح الشكل رقم (٢٢) رسماً توضيحياً لجهاز تسجيل الرطوبة .

ويمكن أيضاً استخدام ترمومترات المقاومة أوترمومترات المزدوجة في قياس الرطوبة وتسجيلها . وفي العادة توصل الترمومترات كل على حدة بأحد أذرع قنطرة « هويتستون » وتوازن عند درجة حرارة واحدة على الذراع الثاني . وتدخل





الشكل رقم (٢٢)

- |                                   |                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| ١ - مقاومة م .                    | دائرة مسجل رطوبة مستخدم في الصناعة . |
| ٢ - مقاوم م <sup>٢</sup> .        | ١ - دلفين الماكينة (متصل بالأرض) .   |
| ٣ - مقاومة م <sup>٣</sup> .       | ٢ - دلفين الملتشات .                 |
| ٤ - مقاومة م <sup>٤</sup> .       | ٣ - وحدة الإشارة .                   |
| ٥ - دلفين متصل بالأرض كهربائياً . | ٤ - كامل م <sup>٣</sup> (لحد أقصى) . |
| ٦ - مصدر قدرة .                   | ٥ - محطة الإشارة الضوئية .           |
| ٧ - جلفاتومتر .                   | ٦ - مسجل الرطوبة .                   |

البصنيلة المبيلة ثم الجافة على التوالي في الدائرة عن طريق مفتاح كهربائي مناسب وتسجل درجات الحرارة ويمكن تعيين الرطوبة النسبية بالرجوع إلى الجداول أو الخرائط الخاصة بالرطوبة .

#### ٤ / ٣ تعيين نقطة الندى :

تعرف نقطة الندى بأنها درجة الحرارة التي يكون عندها الضغط الجزئي لبخار الماء في الجو أو أي غاز آخر مساوياً لضغط بخار التشبع ، وعند هذه النقطة يتحول بخار الماء الموجود في الهواء إلى قطرات صغيرة من الماء . وكلما زاد بخار الماء في حجم معين من الهواء عند درجة حرارة معينة ، تم الوصول بسرعة لنقطة الندى إذا

انخفضت درجة الحرارة ، ولكن إذا كان بخار الماء في الهواء قليلاً فإنه يلزم خفض درجة الحرارة أكثر بالمقارنة مع الحالة السابقة إذا أريد الوصول إلى النقطة التي لا يستطيع فيها الهواء حمل الرطوبة الموجودة به .

ويمكن تعيين نقطة الندى بعدد كبير من الطرق بعضها بسيط والبعض الآخر معقد . وإحدى الطرق البسيطة تتمثل في إمرار ماء بارد في أسطوانة لامعة وعندما يتكون غشاء رقيق من الماء على السطح الخارجى لهذه الأسطوانة تقاس درجة الحرارة . ويمكن استخدام وسائل تلقائية للكشف عن تكون هذا الغشاء وفي التحكم في درجة حرارة الوسط الذى يبرد الأسطوانة . ويباع بالأسواق نوع من الهيجرومترات المستخدمة في تعيين نقطة الندى من صناعة شركة فوكسبرو الأمريكية ، ويتكون هذا الهيجرومتر من خلية حساسة للرطوبة . ووحدة قدرة كهربائية تزودها بالتيار ، ومسجل أو ممين أو وسيلة تحكم وضبط ، وتدرج هذا الجهاز معاير بدلالة درجة حرارة نقطة الندى ، وأساس عمل الجهاز هو أنه يوجد لكل ضغط لبخار الماء الملامس لمحلول ملحي ، درجة حرارة توازن بين المحلول والجو المحيط فلا يعطى أحدهما للآخر أو يمتص منه أى قدر من الرطوبة .

#### ٤/٤ ملاحظات خاصة باستخدام أجهزة قياس الرطوبة :

(١) تبلل الفتيلة وحدها بالماء النظيف الذى لا تختلف درجة حرارته عن درجة حرارة الوسط إلا ببضع درجات ويتجنب تلوثها بالأتربة أو الأملاح الذائبة إذ أن ذلك يؤثر كثيراً في معدل التبخر وبالتالي على درجة حرارة الفتيلة .

(٢) يراعى عدم وصول أية سوائل للبصيلة الجافة .

(٣) يتم أرجحة مقياس الرطوبة الحوام في مدار دائرى بطريقة منتظمة لمدة تتراوح بين ١٥ - ٢٠ ثانية مع تجنب الحركات المفاجئة وأن يكون زمن الدورة الواحدة مناسباً لأنه إذا كان قصيراً جداً فإن درجة حرارة الترمومتر المبلل لن تنخفض

إلى القيمة الصحيحة ، ومن ناحية أخرى إذا كان الزمن طويلاً فإن الفتيلة تجف ولا تظل عند أدنى قيمة لها .

(٤) عند استعمال الجهاز لقياس الرطوبة في الخلاء فيراعى أن يتم ذلك في الظل ، عند القياس في الداخل فيراعى عدم وضعه قريباً من أى مصدر حرارى بما في ذلك جسم الراصد ذاته .

(٥) للحصول على نتائج دقيقة باستعمال مقياس رطوبة من النوع غير الحوام فيلزم تدوير الهواء فوق وحول البصيلتين بسرعة ٤٥٠ سم / ث على الأقل ويراعى توجيهه بحيث يصل إلى البصيلة الجافة أولاً .

(٦) لإجراء قياسات عند درجة حرارة دون نقطة التجمد تزال الفتيلة حيث إنه لا جدوى منها وتبلل البصيلة بكميات صغيرة من الماء توضع عليها مباشرة .  
(٧) تستخدم فتائل من التيل أو القطن فقط ويجب أن تغطي الفتيلة البصيلة كلها ، كما يتم تغيير الفتيلة مرة كل أسبوع ويراعى وضعها في الماء مدة حتى تصل لحالة الاتزان قبل الاستعمال .

(٨) يتجنب تركيب الجهاز قريباً من الأبواب أو في الأماكن التي تكون رطوبتها غير ممثلة للقيم المطلوب قياسها .

(٩) تنظف بصيلتا الترمومترين لأن الأوساخ قد تؤدي إلى أخطاء في انتقال الحرارة .

(١٠) إذا اختلف الضغط الجوى عن قيمة الضغط التي تمت عندها معايرة ترمومتري الجهاز فيراعى إدخال التصحيح المناسب لقراءتيهما

## الباب الخامس

### قياس الضغط

تعتبر قياسات الضغط من أكثر القياسات الصناعية شيوعاً فلا يكاد يخلو منها أى مصنع مهما كان صغيراً . ويكثر استعمال مقاييس الضغط ، بصفة خاصة ، فى الصناعات الكيماوية وتغطى قياسات الضغط مدى كبيراً للغاية يمتد من أجزاء من المليون من ضغط نسمة هادئة إلى ضغوط هائلة لدرجة أنها تشوه المواد تشوهاً دائماً إذا عرضت لها . ويعرف الضغط بأنه القوة الواقعة على وحدة المساحة .

#### ١/٥ الضغط المطلق والضغط الفرقى :

يعرف الضغط المطلق لمائع (سائل أو غاز) بأنه الفرق بين ضغط المائع والصفر المطلق للضغط ، أى أنه الفرق بين ضغط السائل أو الغاز والضغط فى الفراغ التام ، ومن أمثلة الأجهزة التى تقيس الضغط المطلق البارومتر الذى يكون ارتفاع عمود الزئبق به مقياساً للفرق بين الضغط الجوى والضغط فى فراغ «تورشيللى» الواقع فوق الزئبق فى الجزء العلوى من الأنبوبة .

ومعظم مقاييس الضغط تقيس الفرق بين الضغط المطلق للمائع والضغط الجوى ، ولذلك يطلق على قيمة الضغط المعطاة «مدلول مقياس الضغط» ، وبطبيعة الحال تكون هذه القيم عبارة عن قياس ضغط فرق ، ويكون ضغط المقياس هو الفرق بين الضغط المطلق للمائع والضغط الجوى .

مدلول مقياس الضغط = الضغط المطلق للمائع - الضغط الجوي  
أو الضغط المطلق للمائع = مدلول مقياس الضغط + الضغط الجوي .  
وبعض مقاييس الضغط تعطى ضغط التفريغ أى أنها تين المقدار الذى يقل به  
الضغط المطلق للمائع عن الضغط الجوي ، وفى هذه الحالة فإن :  
مدلول مقياس الضغط = الضغط الجوي - ضغط المائع  
ومنها

الضغط المطلق للمائع = الضغط الجوي - مدلول مقياس الضغط  
أما مقاييس الضغط الأخرى بخلاف النوعين السابقين ، فإن قراءة مقياس  
الضغط التى تعطىها تكون مساوية للفرق بين الضغط المطلق لعينة من المائع ،  
والضغط المطلق لعينة أخرى من المائع ذاته أو الفرق بين الضغط المطلق للمائعين حسب  
الحالة .

#### ٢/٥ طرق قياس الضغط :

يمكن قياس الضغط مباشرة بطريقتين إحداهما عن طريق موازنة ضغط المائع  
بضغط عمود من السائل ذى كثافة معلومة والثانية بالسماح للضغط لأن  
يعمل (يؤثر) على مساحة معينة وحيث إن الضغط =  $\frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$  أو القوة = الضغط  $\times$   
المساحة ، فإنه سوف تنتج قوة يعتمد مقدارها على الضغط ، ويمكن قياس هذه  
القوة بموزانتها بثقل معلوم أو بواسطة التشوه أو التغير فى الشكل الذى تنتجه فى وسط  
مرن . ويمكن أيضاً قياس الضغط بطرق أخرى غير مباشرة .

#### ٣/٥ تصنيف طرق قياس الضغط :

يمكن تصنيف طرق قياس الضغط إلى ما يلى :  
١/٣/٥ قياس الضغط عن طريق الموازنة مع عمود من سائل معلوم الكثافة .

وتشمل أجهزة هذا النوع ما يلي :

أنبوبة بسيطة على شكل U ذات ساق رأسية أو مائلة وتندرج تحتها أنبوبة U البسيطة المستخدمة في التطبيقات العملية . لقياس الضغط المطلق - ولقياس الضغط الفرق

- مانومتر ذو ورنية

- مانومتر المعايرات الدقيقة

- مانومتر سونار

- المانومترات الصناعية

٥ / ٣ / ٢ قياس الضغط عن طريق الموازنة مع قوة معلومة ويندرج تحتها مقياس الضغط ذو المكبس ، مقياس الضغط الحلقي ، ومقياس الضغط ذو الناقوس . ٥ / ٣ / ٣ قياس الضغط بالموازنة بين قوة مؤثرة على مساحة معلومة وبين الإجهاد في وسط مرن أنابيب بورردون من النوع الحلزوني واللولبي

الغشاء المعدني المشدود أو المنفاخ

الغشاء الرخو ( المرئحي ) ، قرص تدوير

٥ / ٣ / ٤ طرق أخرى .

٥ / ٤ قياس الضغط بموازنته بعمود سائل ذي كثافة معلومة .

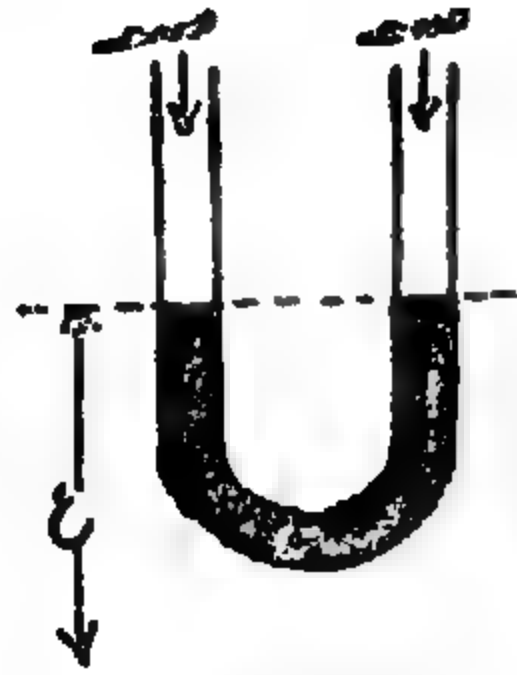
أنبوبة U البسيطة (أو المانومتر شكل U )

إذا كان لدينا أنبوبة على شكل U نحتوى على سائل كثافته  $\theta$  وتركت تحت تأثير ضغط الهواء فقط فإن السطحين للسائل في الساقين يكونان - كما هو موضح بالشكل رقم (٢٣) - على ارتفاع واحد بالنسبة لأى خط مرجعى .

ولكن إذا وصلنا إحدى الساقين ولتكن اليسرى بمصدر هواء أو غاز أو سائل فإنه سوف يحدث قوة تعمل ، إلى أسفل ، على العمود الأيسر ، وهذه القوة سوف تزيح السائل قسراً فيصعد في الساق اليمنى حتى يحدث توازن استاتى للضغط مرة ثانية .



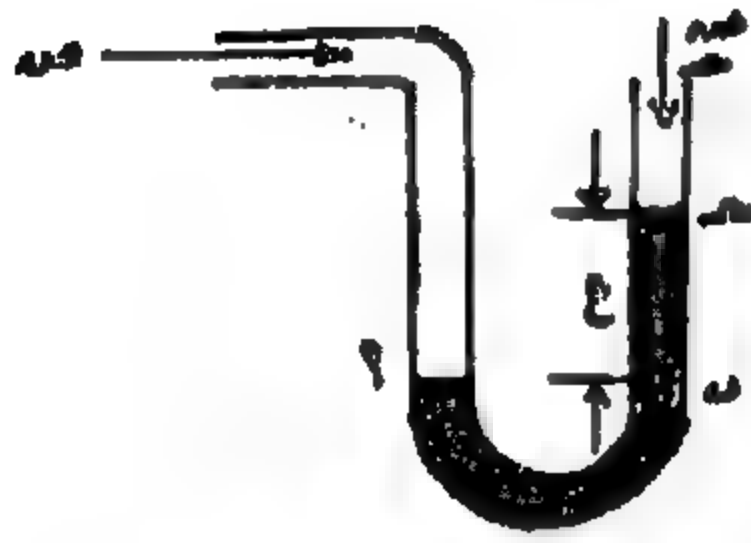
الشكل رقم (٢٣)



أنبوبة بها سائل واقع تحت تأثير الضغط الجوي في كل من ساقيها .

وهكذا فإن ارتفاع سطح السائل في الساقين يتغير باستمرار حتى يصير الضغط متساوياً . عند أى مستوى أفقى يعلو المرجع بارتفاع معين ع (الشكل رقم ٢٤) ، وفي هذه الحالة يكون .

الشكل رقم (٢٤) أنبوبة



ص ج = الضغط الجوي .

ص = الضغط المطلوب قياسه .

ع = فرق الارتفاع بين سطحي السائل في السائلين .

الضغط عند ا = الضغط عند ب

ضغط المائع عند ا = الضغط الجوي (ضجو) + ضغط عمود من السائل ب ح

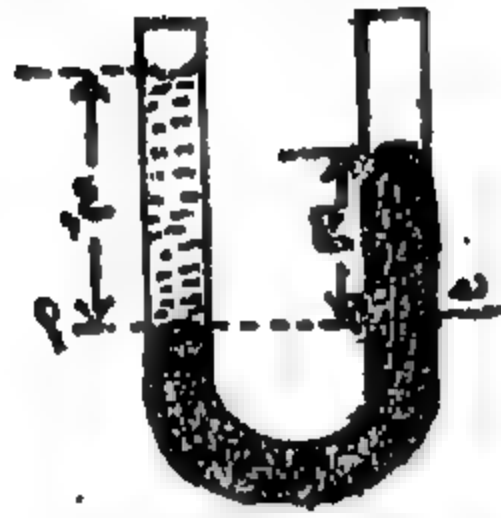
= ضجو + ع ث مم ماء

حيث ع ث مم ماء هي «مدلول مقياس الضغط ويرمز له «ع ث مم ماء «مقياس» .

وإذا كان المائع في الساق اليمنى ذا كثافة لا يمكن إهمالها بالمقارنة مع كثافة السائل بالمانومتر (الأنبوبة على شكل U) ، فإنه يصبح من الضروري الأخذ في الاعتبار

ضغط المائع في المانومتر وأنايب التوصيل فمثلا إذا كان المانومتر (شكل ٢٥) مستخدما لقياس ضغط بخار الماء وكانت الأنبوبة بين ا ومصدر البخار مملوءة بالماء الذي يبلغ ارتفاعه ع<sub>١</sub> مم بالنسبة للمستوى ا وإذا كان السائل المستخدم في المانومتر هو الزئبق (وزنه النوعي ١٣,٥٥ عند ٢٠°م) ، وبافتراض أن ع هو الفرق بين ارتفاع سطحى الزئبق في ساقى المانومتر .

الشكل رقم (٢٥)



أنبوبة . ولا يوجد بإحدى ساقيها ماء .  
ع : ارتفاع الماء فوق المستوى أب .  
ع : ارتفاع السائل فوق المستوى اب .

.. الضغط عند ا = الضغط عند ب

ع<sub>١</sub> مم ماء + ضغط البخار = ١٣,٥٥ ع مم ماء + الضغط الجوى

ضغط البخار = (١٣,٥٥ ع - ع<sub>١</sub>) مم ماء + الضغط الجوى

= (١٣,٥٥ ع - ع<sub>١</sub>) مم ( يد ١ مقياس )

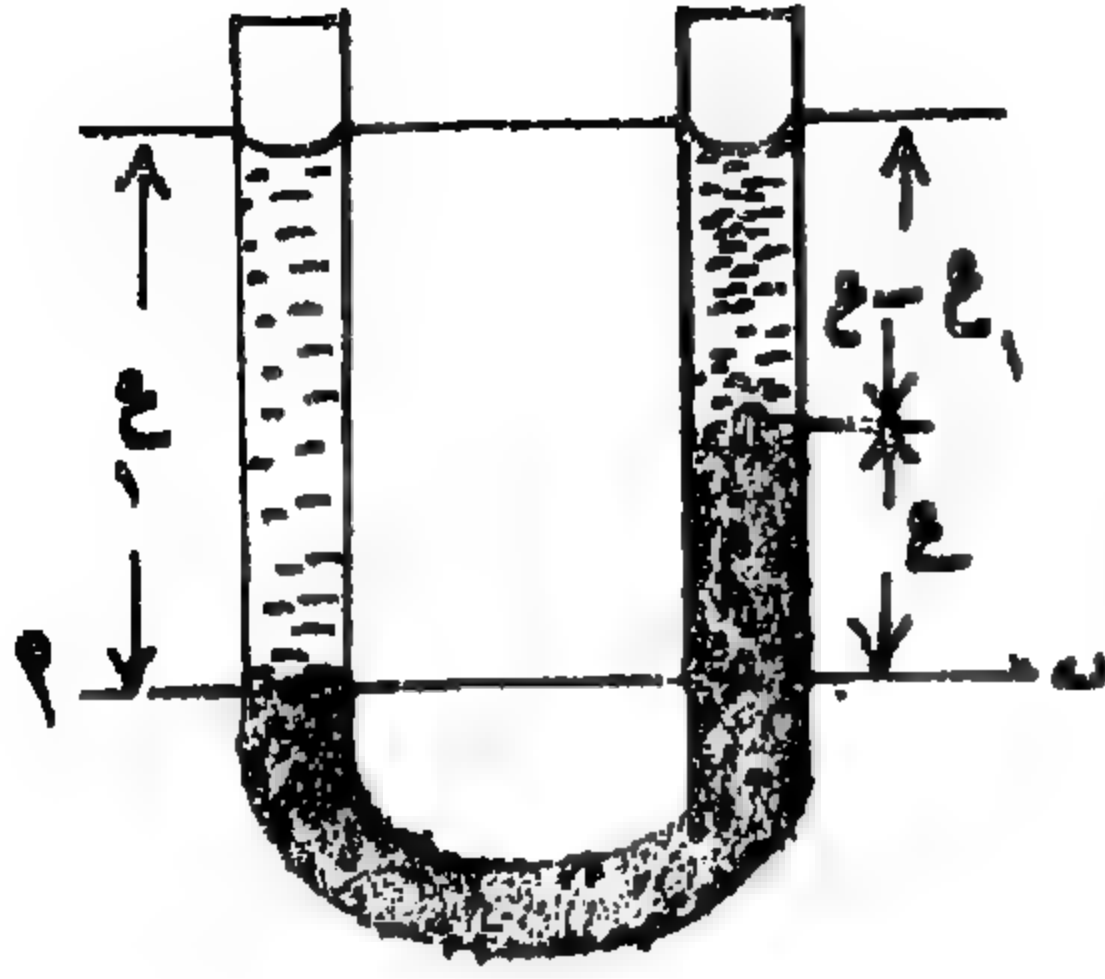
وحيث إن ضغط ا مم ماء = ٩,٧٩ نيوتن / م<sup>٢</sup> = ٩,٧٩ ن / م<sup>٢</sup>

فإن ضغط البخار = (١٣,٥٥ ع - ع<sub>١</sub>) × ٩,٧٩ ن / م<sup>٢</sup>

وبطريقة مماثلة فإنه عند استخدام نفس المانومتر ذاته لقياس فرق الضغط الناتج بواسطة وسيلة خنق ، كما في حالة قياس ضغط بخار متدفق ، فإن ساقى المانومتر يكون بهما ماء فوق الزئبق فإذا كان ارتفاع الماء فوق أ (شكل ٢٥) هو ع<sub>١</sub> وكان السطح ب يعلو أ بمقدار ع فإن ارتفاع الماء فوق ب يكون ع<sub>١</sub> - ع وبتطبيق معادلة توازن الضغط عند أ بذلك عند ب ، يكون فرق الضغط أو الضغط

الفرق = « ١٣,٥٥ - ١ » ع مم يد ١ = ١٢,٥٥ ع مم يد ١ .

وكما رأينا فإن الضغط في هذا النوع من المانومترات يعتمد على كثافة السوائل أو

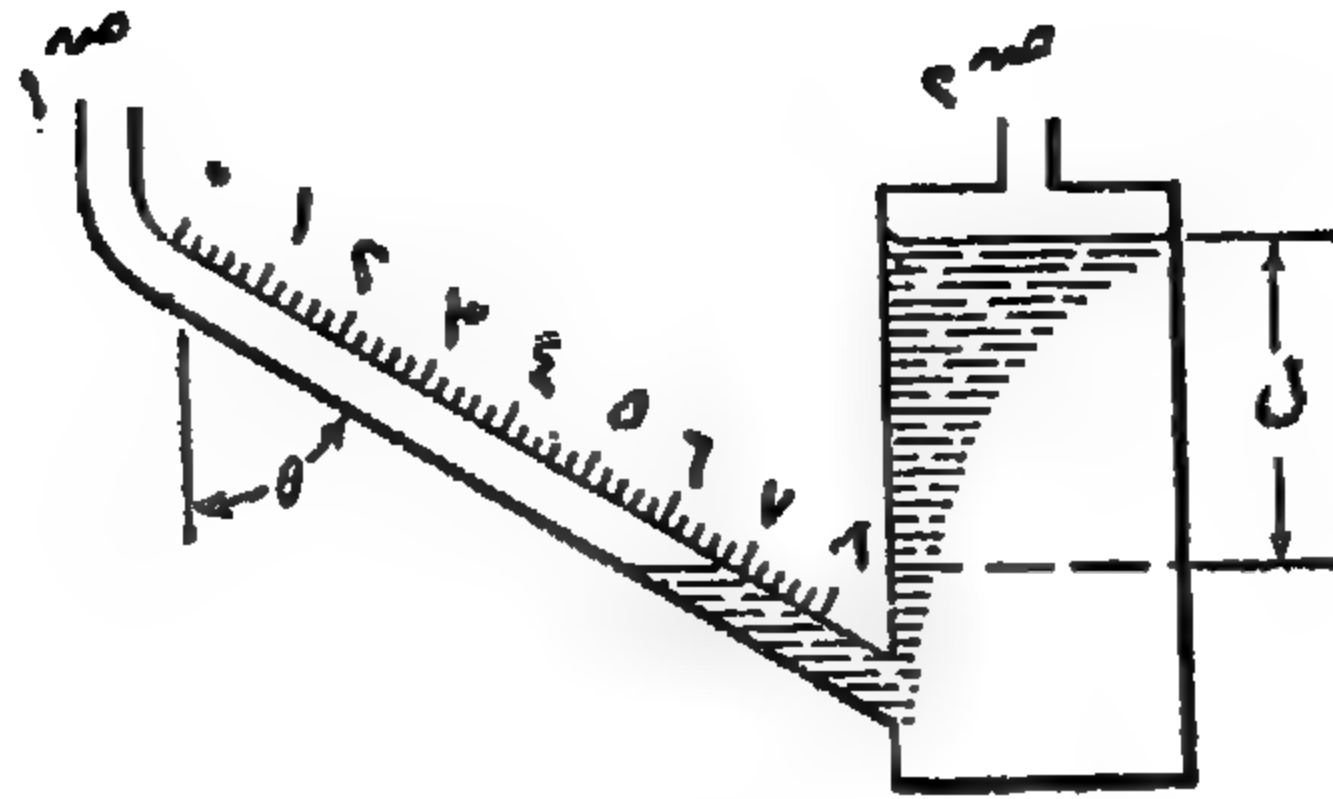


الشكل رقم (٢٦)

أنبوبة وبها ماء فوق .  
السائل في الساقين .

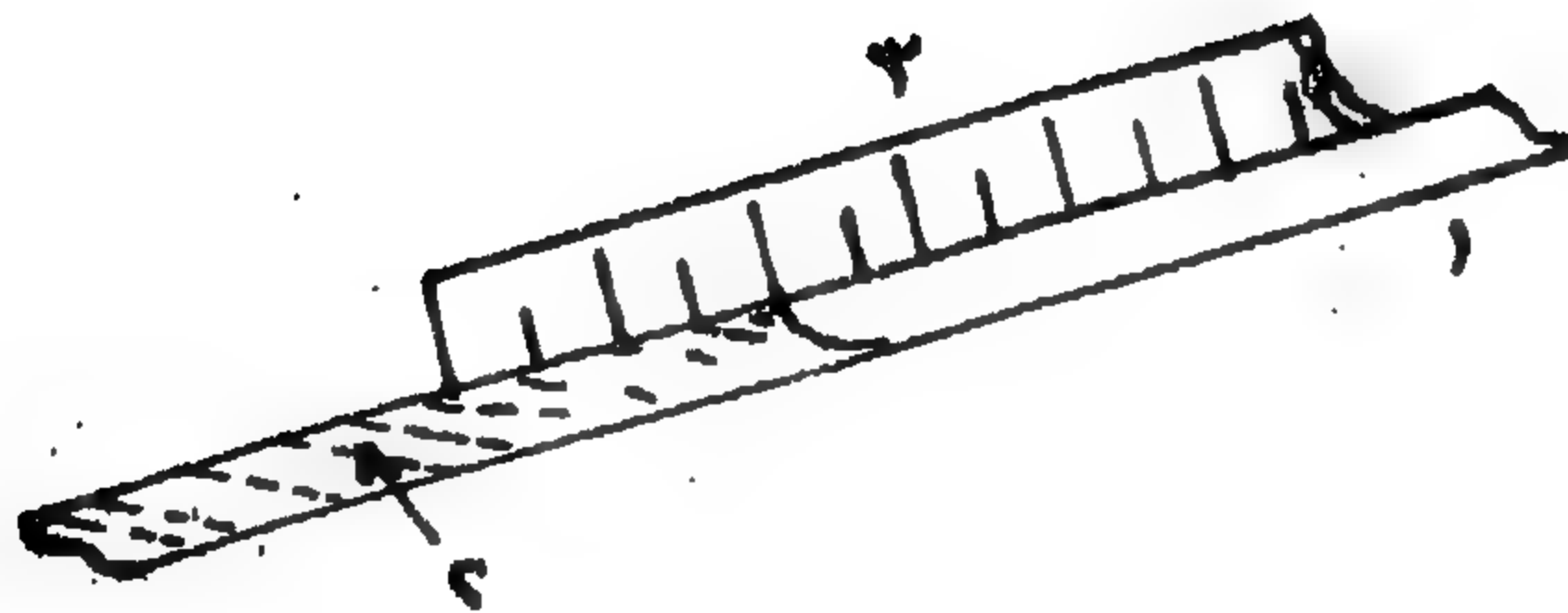
أوزانها النوعية وبما أنه يمكن استخدام موازين دقيقة لقياس هذه الكثافات ، لذا فإنه يمكن قياس الضغط بدقة بالمانومتر . وتعتبر طريقة القياس بالمانومتر هي الطريقة الأساسية أو القياسية لقياس الضغط .

وإذا كانت الضغوط المطلوب قياسها صغيرة فإنه يمكن تعديل شكل أنبوبة U وذلك بأن تكون إحدى ساقيه مائلة مما يؤدي إلى تكبير تدريجه حتى يصير طوله مساوياً أربعة أو خمسة أمثال الطول المستخدم في أنبوبة U العادية (شكل رقم ٢٧) ، وفي العادة تصنع الأنبوبة من البلاستيك ويستخدم زيت خفيف يتم اختياره بحيث يكون خط سطح السائل في الأنبوبة وخطوط التدرج المستعمل خطاً مستقيماً كما هو موضح بالشكل رقم (٢٨) مما يساعد على سهولة القراءة . ويصلح هذا النوع من المانومترات لقياس ضغوط تصل إلى ٤٠ مم ماء مقياس ويمكن قراءتها لأقرب ٠,٢٥ مم . ويستخدم أيضاً هذا النوع لقياس تدفق الغازات ذات الضغوط المنخفضة غير أن الأنبوبة تكون منحنية بحيث يمكن الحصول على مسافات فاصلة متساوية الأقسام على تدرج التدفق من حوالي  $\frac{1}{10}$  من قيمة التدفق إلى التدفق الكامل .



المانومتر ذو الساق المائلة

الشكل رقم (٢٧)



الشكل رقم (٢٨)

شكل سطح السائل .

(١) الأنبوبة المائلة .

(٢) زيت .

(٣) تدريج .

### المانومتر ذو الوردية :

يتكون الجهاز من أنبوبة U مرنة ، وأحد طرفيها يتصل بخزان بينما يتصل الطرف الآخر بغرفة للقياس ، والخزان وغرفة القياس يمكن تحريكها رأسياً ويمكن قياس هذه الحركة بدقة . ويحوى المانومتر مقداراً كافياً من الماء للملء كل من غرفة القياس والخزان إلى منتصفها عندما يكونان على ارتفاع واحد . ويوجد في قاعدة غرفة القياس إبرة من الصلب الذى لا يصدأ ، مثبتة وطرفها إلى أعلى ويمكن رؤيتها هى وصورتها المكونة بالانعكاس الداخلى بزاوية ٤٥° من نافذة في القاع . وعندما يلامس طرف الإبرة بالكاد طرف صورتها تكون الإبرة بالكاد ملامسة للجانب الأسفل لسطح الماء وبذلك فإن سطح الماء يمكن تعيينه بدقة دون أى مضايقات من تأثير التوتر السطحي . وغرفة القياس مصنوعة من سبيكة ألومنيوم وترتبط بورنية قابلة للتحريك على عمود مدرج بواسطة لولب عمود السحب ويوصل ما بين غرفة القياس والخزان النحاس بواسطة أنبوبة من البلاستيك ، والعمود المشار إليه مركب على قاعدة مزودة بمقياس الاستواء ذى الفقاعة ومسمارين ملوليين لضبط الاستواء . ويغطى هذا الجهاز مدى ضغط يمتد من صفر إلى ٢٠٠ مم يلها مقياس ويمكن قياس الوردية إلى ٠,٠٢ مم ماء مقياس . وهذا الجهاز يصلح لقياس ضغوط فرقية صغيرة بوحدة مم يلها مقياس كما هو الحال عند قياس تدفق الهواء في مجارى بواسطة أنبوبة استاتيكية .

### المانومتر القياسى (الأممى) :

عندما يستخدم المانومتر كأمام لمعايرة غيره من أجهزة الضغط فإنه يجب تزويده بوسائل خاصة تجعل قراءاته ذات دقة وضباطة عاليتين ، فيزود مثلاً بورنية لكى تجنب القارئ اللجوء إلى تقدير أقسام التدرج ، ويزود بوسيلة تلغى حاجته لتقدير

الوضع الصحيح لسطح السائل في الأنبوبة ، ووسيلة لضمان أن عمود السائل يكون أفقياً ، كما يؤخذ في الاعتبار أى تغير في درجة الحرارة واختلاف الجاذبية الأرضية من مكان إلى آخر ومدى القياس في هذا النوع من المانومتر - ١٠٨٠ مللى بار ويمكن قراءته لأقرب ٠,١ مللى بار بواسطة الورنية ، وتبلغ دقته حوالى  $\pm 0,0002$  ، وحساسية حوالى  $0,000004$  .

#### مانومتر رجع الصوت (سونار) :

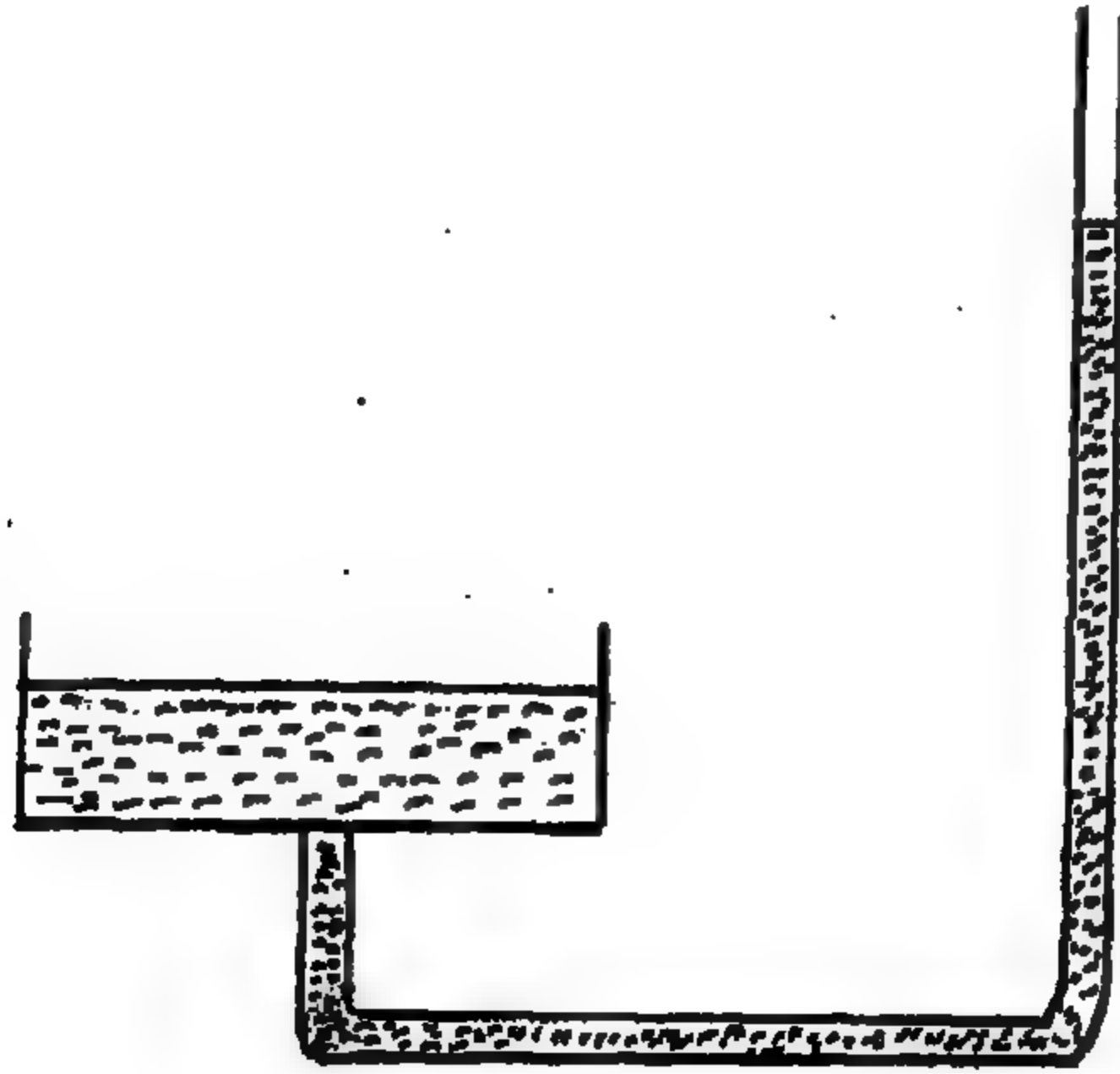
هذا المانومتر عبارة عن مانومتر أمامى معدل ، يتم فيه قياس الفرق بين مستوى سطحى الزئبق في عمودى المانومتر رقيقاً ، وعرضه الكترونياً كقراءة للضغط . ويصل مداه حتى ١٠٨٠ مللى بار وأصغر وحدة به هى ٠,١ مللى بار . ويتم القياس في هذا المانومتر بواسطة نظام صوتى - الكترونى تتوفر له إمكانية قراءة الضغط بأى معدل زمنى يتراوح ما بين ١٠ قراءات في الثانية الواحدة وقراءة واحدة كل خمس ثوان ، تبعاً للضغط اليدوى لزر معدل العينات المنضبط . وعند بداية دورة القياس ترسل نبضة كهربية مستقلة إلى محول طاقة موجود عند قاع عمود الزئبق ، ويقوم كل من المحولين بتحويل النبضة الكهربائية إلى نبضة صوت فوق سمعية تسافر باتجاه السطح حيث تعكس بواسطة سطح عمود الزئبق ، وتعود ثانية إلى محول الطاقة حيث يعاد تحويلها ثانية إلى نبضة كهربائية . وبطبيعة الحال فإن النبضة التى تمر في العمود الأقصر تصل أسرع من النبضة الخاصة بالعمود الأطول ، وذلك لأن سرعة الموجات فوق السبعية في العمودين واحدة وعند وصول النبضة الخاصة بالعمود الأقصر إلى محول الطاقة الخاص بها فإنها تستعمل في بدء العد لكى تغذى النبضات من مذبذب مؤقت ذى بلورة متحكم فيها إلى عداد رقمى ، وعندما تصل النبضة الخاصة بالعمود الأطول فإنها توقف العد . ويتناسب عدد النبضات المقيسة مع الفرق بين طولى عمودى الزئبق ويترجمها الجهاز مباشرة إلى وحدات ضغط .



### المانومترا الصناعية :

تكون الأنبوبة شكل U ، عادة ، مصنوعة من الزجاج وتحتوى سائلا مناسباً ، ولكن بعض الاستخدامات الصناعية تقتضى أن تكون هذه الأنبوبة من مادة أكثر تحملاً للاستخدام عن الزجاج . وقد استخدم لهذا الغرض أنابيب من الصلب ، ومن البديهي أنه . فى هذه الحالة ، لا يمكن رؤية سطح السائل ، وقراءته بطريقة مباشرة . لذلك تستعمل وسيلة لتحريك المؤشر الواقع خارج الأنبوبة U لبيان مستوى الزئبق بداخلها . وإذا كانت إحدى ساقى الأنبوبة معرضة للجو مباشرة ، فإنه يكون من السهل وضع عوامة (جسم طاف) فى هذه الساق ، وتقوم هذه العوامة بتشغيل آلية تحريك المؤشر . وعند قياس ضغوط فرقية ، كما فى حالة قياس التدفق ، فإنه يكون من الضرورى إحكام إغلاق جانبي الأنبوبة ، مع استخدام طرق أخرى لنقل موضع سطح السائل .

وقد وجد أنه من المناسب استخدام مانومتر ذى خزان (شكل رقم ٢٩) وهو عبارة عن مانومتر U معدل بحيث تكون إحدى ساقيه كبيرة ، بالنسبة للساق

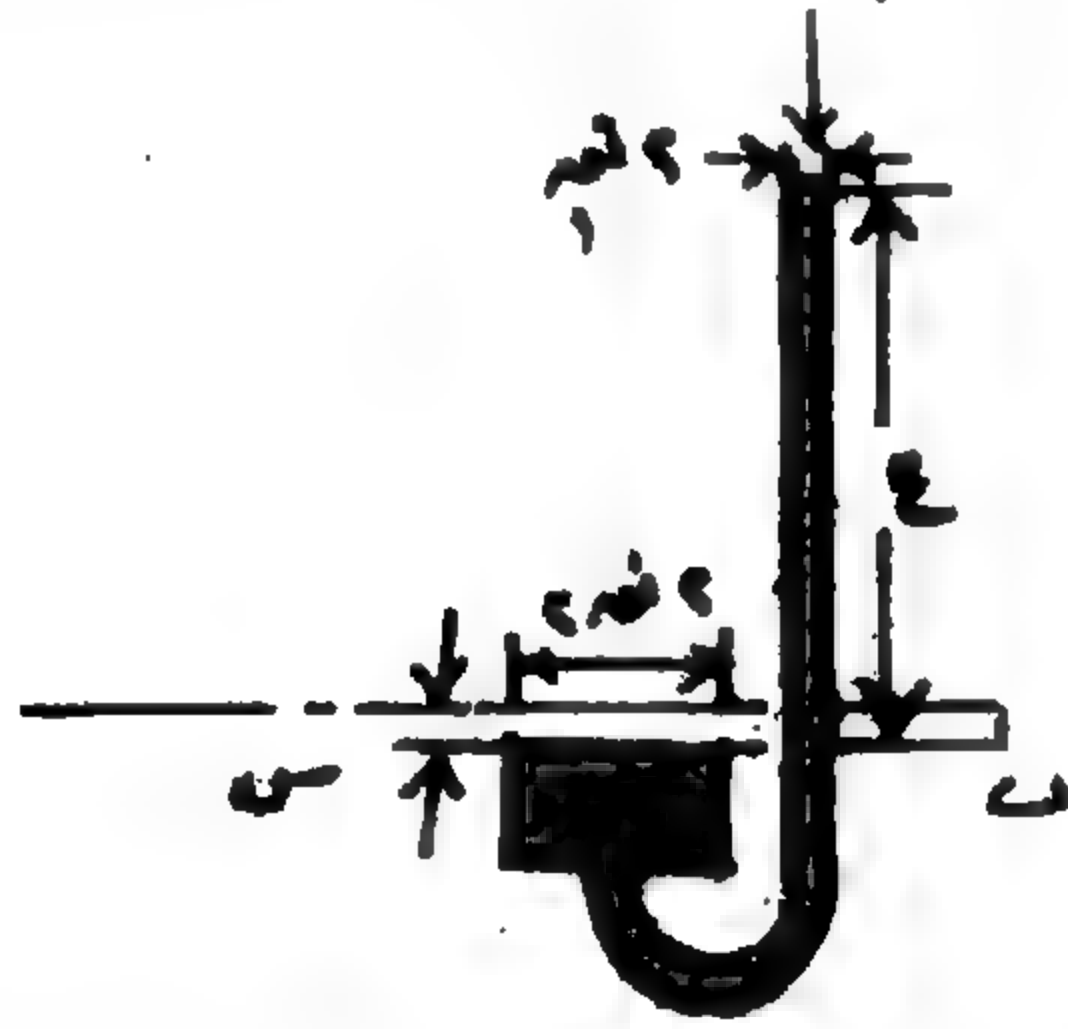


شكل رقم (٢٩)

المانومتر ذو الخزان

الأخرى ، ويطلق على الساق الكبيرة - المساحة «الخزان» ، والأخرى ساق القياس وهي عبارة عن أنبوبة صغيرة المقطع ، وعندما يعرض هذا المانومتر لضغط فرقي فإن ارتفاع الزئبق في إحدى الساقين لا يساوى الانخفاض في الثانية ، لأن السائل المزاح في إحدهما لا يعطى نفس الارتفاع في الثانية ، فمثلاً إذا كانت مساحة مقطع الخزان ١٠٠ سم<sup>٢</sup> ومساحة مقطع الأنبوبة ١ سم<sup>٢</sup> فقط فإن عموداً من السائل ارتفاعه ١ سم فقط بالخزان عند إزاحته ، نحت تأثير الضغط ، إلى الساق الأخرى يرفع مستوى السائل بها ١٠٠ سم ، وهذا يعنى أن الارتفاع في ساق والانخفاض في الأخرى يعتمد على مساحة مقطعهما .

وإذا فرضنا أن ضغطاً فرقياً ارتفاعه ع في مانومتر زئبقى كما في الشكل رقم (٣٠) ، وأن نصف قطر مقطع الأنبوبة والخزان هما تق<sub>١</sub> مم ، تق<sub>٢</sub> مم على التوالي وأن انخفاض مستوى الزئبق في الخزان س



الشكل رقم (٣٠)  
المانومتر ذو الخزان

∴ حجم الزئبق المزاح من الخزان = حجم الزئبق الذى دخل أنبوبة القياس .

$$\therefore \text{ط تق}_2 \cdot \text{س} = (\text{ع} - \text{س}) \cdot \text{ط تق}_1$$

$$\text{تق}_2 \cdot \text{س} = \text{ع} \cdot \text{تق}_1 - \text{س} \cdot \text{تق}_1$$

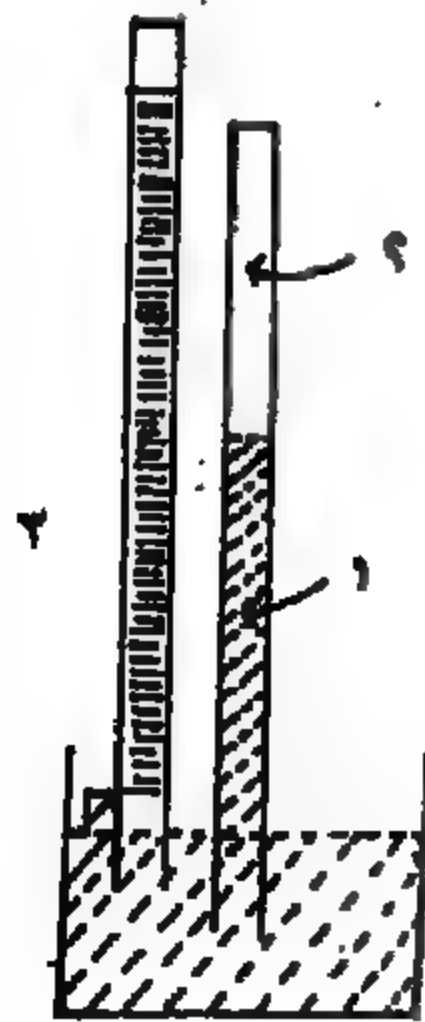
$$\text{س} (\text{تق}_2 + \text{تق}_1) = \text{ع} \cdot \text{تق}_1$$

$$\text{س} = \frac{\text{تق}_1}{\text{تق}_2 + \text{تق}_1} \cdot \text{ع} = \frac{\text{ق}_1}{\text{ق}_2 + \text{ق}_1} \cdot \text{ع}$$

وبذلك فإنه يمكن عن طريق التحكم في قطري الأنبوبة والخزان ، تحديد العلاقة بين س ، ع بحيث تكون الأولى جزءاً صغيراً من الثانية وفي ذلك مزايا واضحة ، إذ أنه يمكن تحديد المسافة التي تتحركها العوامة بالقدر المناسب نقله لآلية تحريك المؤشر ، كما أنه يمكن عن طريق تغيير قطر الخزان أو الأنبوبة تغيير مدى الجهاز دون حاجة لتغيير أى شيء آخر ، ويمكن في حالة قياس معدل التدفق بدلالة الضغط الفرقى جعل الخزان ذا شكل مناسب بحيث تتحرك العوامة بمقادير متساوية مقابلة للتغيرات المتساوية في التدفق ، وأخيراً فإن كبر قطر الخزان يجعل القوة المتاحة للعوامة كبيرة بما يكفى لتحريك المؤشر مع تقليل تأثيرات الاحتكاك .

#### البارومتر :

البارومتر (شكل ٣١) أحد أنواع مقاييس الضغط المطلق ذات الخزان ويشمل مداه أى ضغط مطلق من الصفر إلى الضغط الجوى وتكون قراءته بالمليمتر زئبق ولا يستخدم في قياس التفريغ العالى . وللحصول على قيم صحيحة لارتفاع العمود فإن سطح السائل في الخزان يضبط على المؤشر بواسطة تغيير حجم الخزان ، كما يستخدم تصحيح مناسب لتأثيرات التغير في درجة الحرارة .



الشكل رقم (٣١)

البارومتر ما هو إلا مانومتر بخزان من نوع خاص يكون فيه الضغط صفراً أو أقرب ما يمكن له في الجانب ذى الضغط الأدنى ويضبط التدريج بحيث يكون المؤشر دائماً عند سطح السائل .

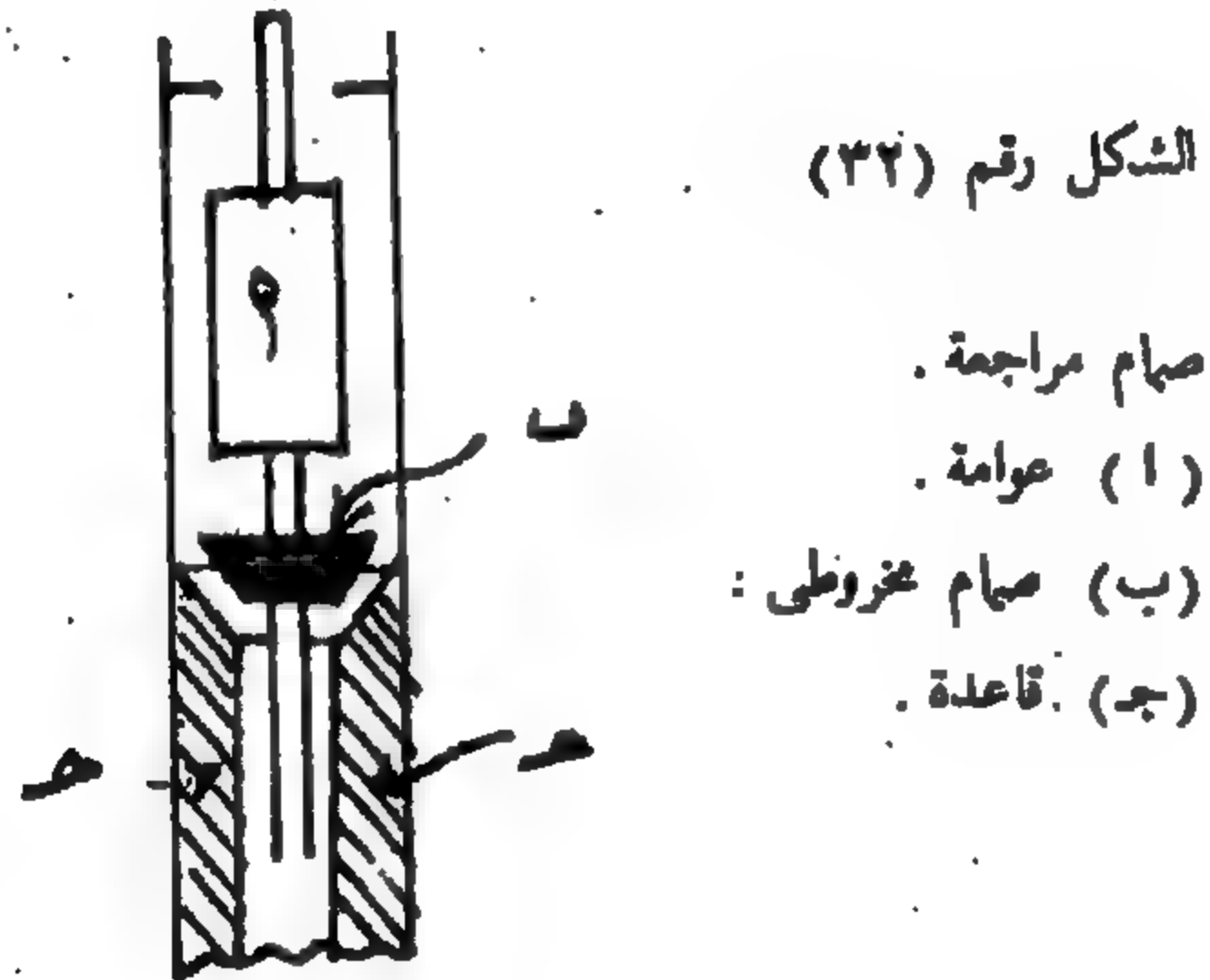
(١) سائل .

(٢) فراغ (يقدر الإمكان) .

(٣) تدريج .

### وسيلة تجنب أخطار التحميل الزائد :

قد يحدث ، لسبب أو لآخر ، زيادة الضغط الفرق المسلط على مقياس الضغط زيادة كبيرة بحيث يتجاوز القيمة المعتادة وحيث قد يقذف الزئبق خارج الجهاز إلى الأنابيب وأجزاء من المصنع إذا لم يستخدم صماماً مراجعة . وأكثر أنواع هذه الصمامات شيوعاً موضح بالشكل رقم (٣٢) ويتكون من عوامة ثقيلة ذات صمام مخروطي ب في



الشكل رقم (٣٢)

- صمام مراجعة .
- (١) عوامة .
- (ب) صمام مخروطي .
- (ج) قاعدة .

الجانب السفلي منها وقاعدة حـ ، ويركب صمام مراجعة في كل ساق من ساق المانومتر ، وفي حالات التشغيل العادية يقوم الدفع الناتج عن الزئبق برفع العوامة ، ويكون هناك خلوص بينها وبين القاعدة حـ ، غير أنه عند حدوث تدفق مفاجئ إلى أسفل فإن تيار التدفق يحمل العوامة معه حتى تجلس على قاعدتها وبذلك فإنها تعمل على إحكام غلق الساق ووقف التدفق . وأيضاً فإن الصمام يعمل ، عندما ينخفض منسوب الزئبق إلى الدرجة التي لم يعد فيها كافياً لحمل العوامة ، فتتهبط وتستقر على قاعدتها ، وتمنع التدفق ، وفي مثل هذه الحالة فإنه إذا كان حجم الساقين كافياً لاستيعاب الزئبق كله فإن الجهاز يعود إلى حالة التشغيل المعتادة بعد زوال التحميل الزائد .

## ٥ / ٥ وسائل التخميد :

عندما يكون الضغط الفرقى المراد قياسه ذا نبضات ، فإنه تستخدم وسيلة لتخميد هذه النبضات ، وهى عبارة عن صمام تقييد يمكن ضبطه أثناء استخدام مقياس الضغط ، ويوضع فى الأنبوبة الموصلة بين الساقين .

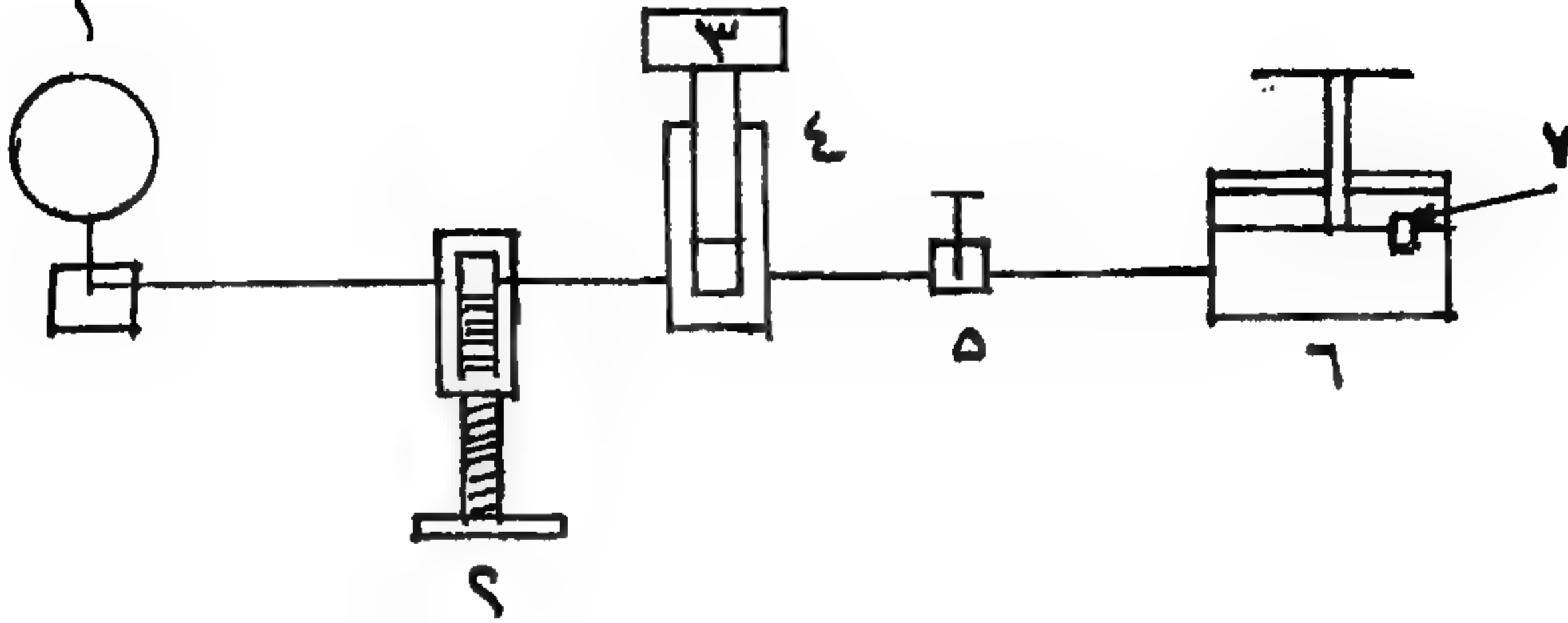
٥ / ٦ قياسات الضغط بواسطة موازنة القوة الناتجة على مساحة معلومة ، مع قوة مقيسة :

## ٥ / ٦ / ١ طريقة المكبس :

يعتبر المانومتر السائلى جهازاً لقياس ضغوط منخفضة ، وحتى لو استعمل الزئبق فإن هناك حداً للضغوط التى يمكن قياسها ، إذ لا يمكن استعماله لضغوط عالية ، فطول كل من متاقى المانومتر تحددها اعتبارات عملية ، وأنبسب جهاز لقياس الضغوط العالية هو مقياس الضغط ذو المكبس الحر ، ويصلح هذا الجهاز لمعايرة أجهزة الضغط ذات الغشاء ، أو ذات أنبوبة بوردون . وفى هذا النوع من الأجهزة تقاس القوة المؤثرة على مكبس معلوم مساحته مباشرة بالثقل الذى يمكنه حمله .  
جهاز اختبار الضغط ذو الحمل المباشر : بنى هذا الجهاز بالإفادة من العلاقة التالية :

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$$

ويوضح الشكل رقم ٣٣ تخطيطاً يوضح أجزاء هذا الجهاز . وهو يستعمل كأمام لمعايرة أجهزة الضغط الأخرى التى لا يمكن استخدام المانومتر السائلى لمعايرتها . وتعتمد دقة هذا الجهاز - بدرجة كبيرة - على دقة صناعة المكبس الذى يجب أن تكون التفاوتات فى كل من قطره واستدارته واستواء سطحه صغيرة جداً ، وتصنع المكابس من صلب مصلد ومقسى ومجلىخ ومصقول بدقة . ثم يوفق بين المكبس وأسطوانته بحيث يوجد بينهما أدنى خلوص ممكن ، ويفترض أن قطر هذا



الشكل رقم (٣٣)

رسم تخطيطي لجهاز اختبار الضغط ذو الحمل المباشر.

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| (١) مقياس الضغط .        | (٤) مكبس مساحته أم <sup>٢</sup> .         |
| (٢) مكبس لولبي .         | (٥) صمام (يكون مفتوحاً فقط عند التحضير) . |
| (٣) ثقل و .              | (٦) مضخة تحضير أولية وخزان .              |
| (٧) صمام تنفيس (تخفيف) . |   |

المكبس الفعال هو متوسط قطري المكبس وأسطوانته ، وتملأ الأسطوانة بزيوت معدني خفيف ، خال من الأحماض والراتنجات ، وذلك للاستخدام في ضغوط تصل إلى ٥٥٠ باراً ، وتملأ الأسطوانة بزيوت الخروج للضغوط الأعلى من ٥٥٠ باراً . ولكي يتم التخلص من تأثيرات الاحتكاك ، يدار المكبس أثناء أخذ القراءة ، ويضمن هذا الدوران أن المكبس ليس محمولا ، ولو جزئياً بواسطة مقاومة الاحتكاك الناشئ بين الزيت والجهاز . وعندما يكون مدى الضغط للجهاز أقل من ٥٥٠ باراً فإن السنج (الأثقال) توضع مباشرة على قمة المكبس ، ولكن هذه الطريقة لا تصلح للأجهزة المستخدمة لضغوط أعلى من ٥٥٠ باراً ذلك أنه يلزم عدد كبير من السنج ، عند تكويمها فوق بعضها فقد لا تكون جميعها متمركزة حول امتداد محور المكبس ، مما ينتج أخطاء كبيرة بسبب الاحتكاك ، ولهذا فإنه يستعمل تصميم خاص لطريقة تدعيم حامل الأثقال الذي يتكون من منصة حول أسفل أنبوية طويلة أو الطرف العلوي ،



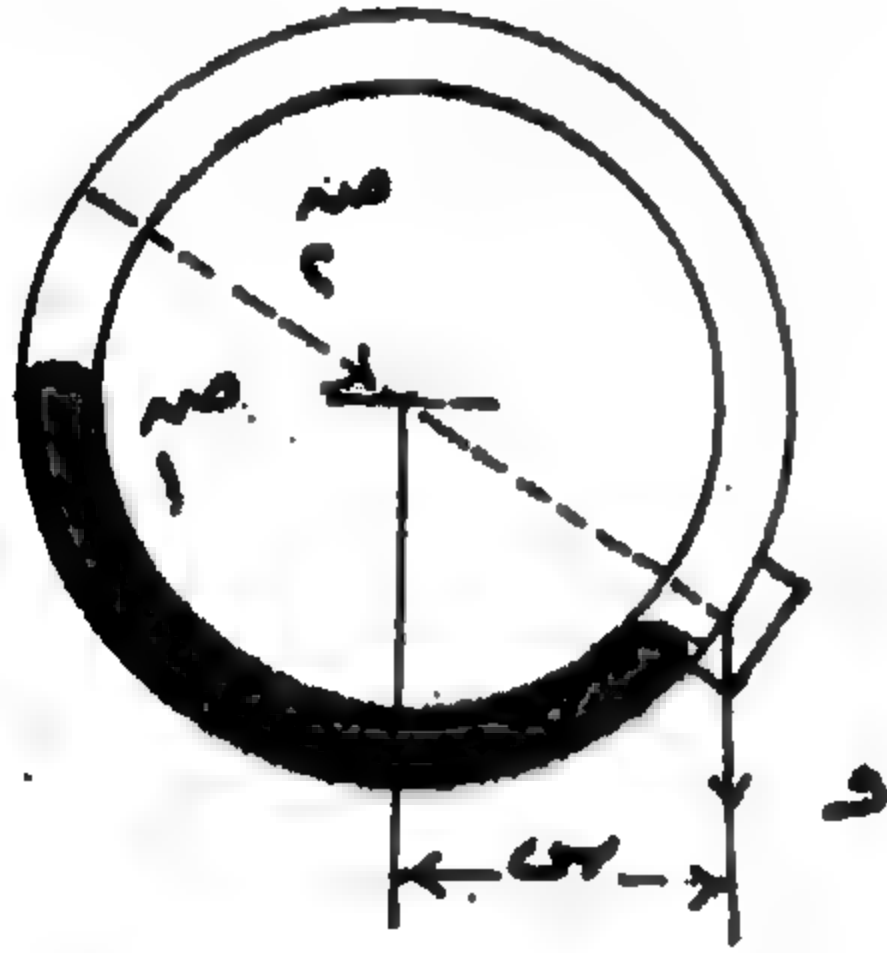
وهذه الأنبوبة على هيئة قبة تجلس على كرة ، وبذلك يتم تجنب أية إجهادات جانبية .  
ويبنى الضغط في جهاز اختبار مقاييس الضغط بواسطة مضخة تحضير ومكبس لولبي .  
ويراعى عند اختبار أو معايرة مقاييس ضغط الأكسجين بهذا الجهاز ، عدم السماح بدخول الزيت إلى المقياس ، لأن بخار الزيت يكون مخلوطاً متفجراً مع الأوكسجين .  
ولذلك فإنه بالنسبة لضغوط حتى ٢٠ باراً يمكن اختبار مقاييس ضغط الأوكسجين بالماء أو الهواء وبالنسبة للضغوط من ٢٠ - ٥٥٠ باراً فإنه يلزم استعمال مانع للتسرب كما سيأتى ذكره فيما بعد .

وحيث إن السنج المستخدمة تحدد الحمل المسلط على مساحة معلومة وثابتة هي مساحة المكبس ، فإن هذه السنج يتم إعدادها بقيم مناسبة - لمضاعفات وحدات الضغط مثل نيوتن على المتر المربع (ن/م<sup>٢</sup>) أو البار .

وقد تمت صناعة نوع من مقاييس اختبار الضغط ذى الحمل المباشر التى تحتوى على وحدة مكونة من مكبين أحدهما مساحته ٨٠,٦٤ مم<sup>٢</sup> والآخر مساحته ٤,٠٣٢ مم<sup>٢</sup> .  
وهذا التصميم يقلل عدد السنج المطلوبة لتغطية مدى الجهاز كما يوفر الجهد المبذول لرفعها عن مكبس الجهاز إذ يمكن استعمال أى من المكبين مع التأثير بنفس السنج .  
فمثلاً لاختبار مقياس ضغط مداه من صفر حتى ١٤٠ باراً (مقياس) يمكن وضع سنج مناظرة لضغط ٧ باراً (مقياس) على المكبس الكبير ويرفع الضغط إلى ٧ باراً (مقياس) ، ويدار المكبس اللولبي فيتوقف المكبس الكبير عن العمل ، وعندما يصل الضغط إلى ١٤٠ باراً (مقياس) ، يشغل المكبس الصغير دون إضافة أية سنج أخرى . ويوجد على الجهاز بيان لوفى يدل على المكبس المستخدم . هذا ويكون الجهاز مصحوباً بشهادة من صانعه محددة لدقته وبها عبارة تدل على أن خطأ القراءات بالجهاز لا يتعدى ٠,٣ ٪ من قيمة الضغط المقيس .

المانومتر الحلقى : يستخدم المانومتر الحلقى كثيراً فى قياس ضغوط فرقية صغيرة فى حدود ١٠٠ مم ماء (مقياس) ويتكون هذا المانومتر أساساً من حلقة (شكل رقم ٣٤)

جوفاء دائرية المقطع مقسمة في جزئها العلوى ومملوء جزئيا بسائل ، بحيث تكون غرفتين لقياس الضغط وتستند الحلقة عند منتصفها على حافة سلكين فوق سطح حامل ، أو بواسطة محمل كريات أو دلافين . وتصنع الحلقة من المعدن أو البلاستيك تبعاً لنوع الغاز الذى يقاس ضغطه . وأيضاً فإن الغاز هو الذى يحدد طبيعة السائل المستخدم ، ويعمل هذا السائل كمانع للتسرب فقط ، ولهذا فإنه لا يؤثر في معايرة الجهاز . وتنتج القوة التى



الشكل رقم (٣٤)

مانومتر حلقى .

تشغل الجهاز عن فرق الضغط على جانبي الحاجز ، ولذلك تجعل مساحة المقطع العرضي للحلقة كبيرة عندما يكون الضغط الفرقى المقيس صغيراً والعكس بالعكس . ويتم قياس فرق الضغط بين سائلين يتم إدخالهما في الحلقة عن طريق توصيلات مرنة . وهذه التوصيلات توضع بحيث يكون طولها وحركتها أقل ما يمكن . وتوازن الحلقة بواسطة ثقل تحكم يكون في أدنى نقطة عندما يتساوى الضغط على جانبي الحاجز .

وإذا كانت مساحة المقطع للحلقة ، وقطرها المتوسط هما ١ متر مربع ، نق متر على التوالى ، وكان ثقل الموازنة على بعد نق ١ متر من محور الارتكاز ، وكان الضغط المسلط على أحد الجانبين ض<sub>١</sub> ن / م<sup>٢</sup> وعلى الجانب الآخر ض<sub>٢</sub> ن / م<sup>٢</sup> حيث ض<sub>٢</sub> < ض<sub>١</sub> .  
∴ القوة المؤثرة على الحاجز = (ض<sub>١</sub> - ض<sub>٢</sub>) أنيوتن

وتأثير أعزم الدوران الناتج عن هذه القوة هو (ض<sub>١</sub> - ض<sub>٢</sub>) نق أ ن م حول المركز . ونتيجة لذلك ، تدور الحلقة في اتجاه ضد عقارب الساعة إلى أن يتوازن هذا

العزم بعزم ثقل الموازنة ، إذا كان هذا الثقل « و » على بعد س متراً عن الخط الرأسى المار بمجرد الارتكاز .

$$(ض٢ - ض١) أ تق = وس$$

$$ض٢ - ض١ = \left[ \frac{س}{أ تق} \right]$$

أى أن فرق الضغط يتناسب مع المسافة س . وثابت التناسب  $\frac{س}{أ تق}$  وبذلك تكون س مقياساً للضغط الفرقى (ض٢ - ض١) ولكن  $\frac{س}{أ تق} = حاب$  حيث ب هى الزاوية التى دارتها الحلقة

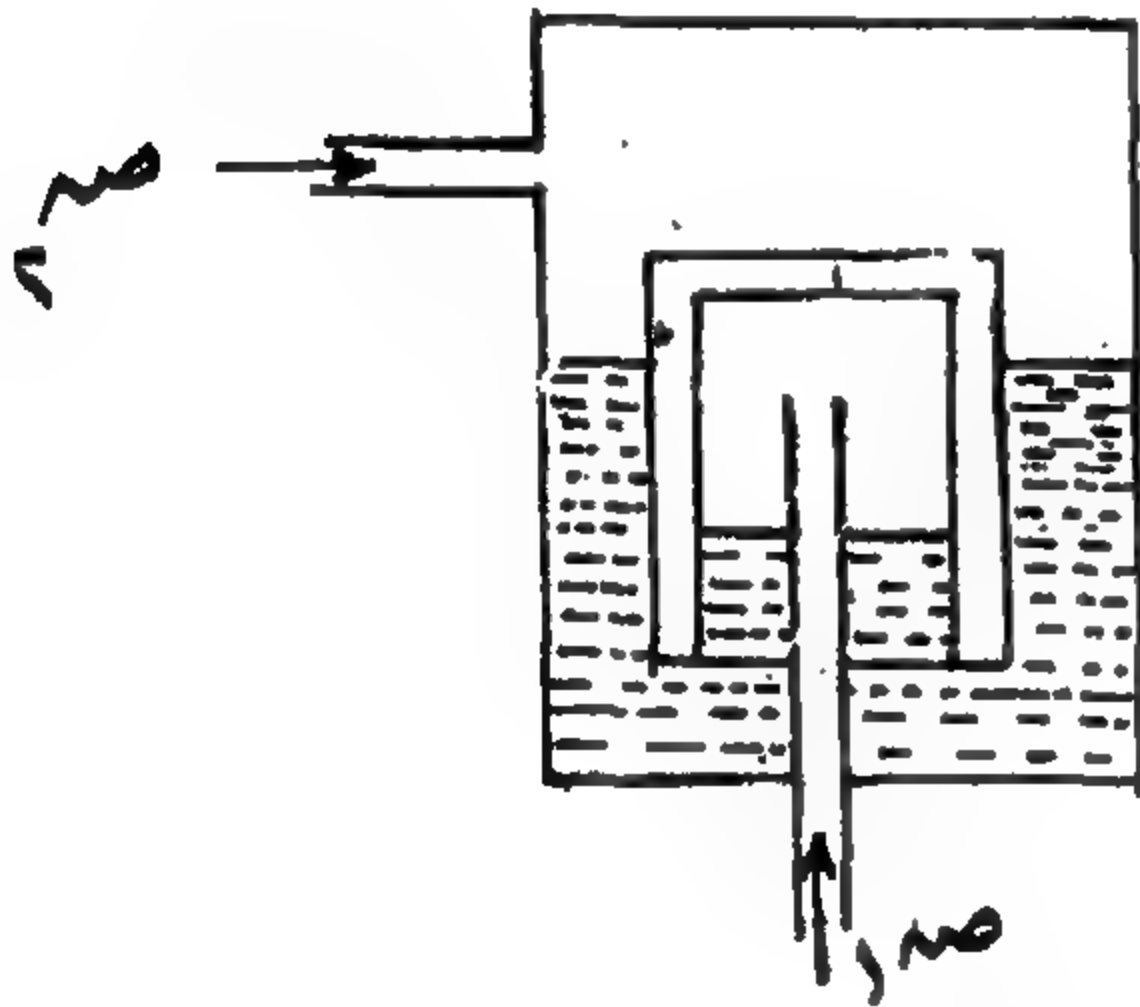
$$ض٢ - ض١ = \frac{س}{أ تق} حاب$$

ويمكن استخدام المانومتر ذى الحلقة لقياس ضغوط استاتيكية مختلفة ويعتمد مداه على طبيعة وسمك مادته وعلى قيمة الضغط التى تتحملها الوصلات الخاصة به ، ولقياس ضغوط عالية جداً تصنع الحلقة من الصلب وتزود بتوصيلات مرنة بداخلها أنابيب . ويمكن كذلك استخدام المانومتر ذى الحلقة فى قياس الضغوط الفرقية ، ويتوقف مدى قياسه فى هذه الحالة على مقاس الحلقة وطبيعته - ومقدار السائل المانع للتسرب .

### ٥/٦/٢ مقياس الضغط ذو الناقوس :

يستخدم مقياس الضغط ذو الناقوس ، بكثرة فى الصناعة ، لقياس ضغوط منخفضة ٢٥٠ بسكالا إلى ٢٥٠٠ بسكال (أى ما يعادل مدى ضغط من ١ إلى ١٠ بوصات ماء) ويمكن تقليل الاحتكاك فى هذا المقياس ، عن طريق التصميم المناسب ، بحيث يستجيب للتغيرات الطفيفة فى الضغط التى تقابلها فى الصناعة باستثناء قياسات ضغط التفريع العالى . ويتكون هذا الجهاز من ناقوس مقلوب ( طرفه المفتوح إلى أسفل ) فى غرفة محكمة مصنوعة من الحديد الزهر وتحتوى سائلاً مثل الرئبق أو الزيت

ويغطي المائل الطرف المفتوح للناقوس ويعمل كمانع للتسرب مكوناً بذلك غرفتين ، وفي هذا النوع من الأجهزة الذي تقوم به الجاذبية الأرضية بعمل القوة الحاكمة ، يوصل الضغط الأعلى إلى داخل الناقوس ، بينما يؤثر الضغط الأقل على السطح الخارجى للناقوس ، والفرق بين الضغطين يعطى قوة رافعة وكلما خرج جزء من الناقوس من السائل فإنه يفقد جزءاً من قوة الطفو (الدفع الأعلى) ويزداد وزنه ويستمر في الارتفاع حتى يحدث التوازن بين القوة المؤثرة لأعلى ، والوزن الظاهري له . وحيث إن الضغط داخل الناقوس يكون أكبر من الضغط خارجه فإن ذلك يجعل مستوى السائل خارج الناقوس أعلى من مستوى السائل بالداخل بالإضافة إلى جعل الناقوس يرتفع ، ويوضح الشكل رقم (٣٥) ناقوساً من هذا النوع .



الشكل رقم (٣٥)

- ناقوس .
- ض ١ : ضغط منخفض .
- ض ٢ : ضغط عال .
- ض ١ : ضغط منخفض .
- ض ٢ : ضغط عال .

ويوجد نوع ثان من مقياس الضغط ذى الناقوس ، يكون فيه الناقوس مصنوعاً من مادة رفيعة السمك ويتم الحصول على القوة الحاكمة بواسطة زنبرك ، وتكون تأثيرات الإزاحة في هذه الحالة ذات تأثير صغير بحيث إنه يمكن إهمالها تماماً إذا كان السائل المانع للتسرب ليس كثيفاً جداً وبما أن الناقوس مصنوع من مادة رفيعة فإن المساحتين اللتين يؤثر عليهما من الداخل ومن الخارج تكونان متساويتين ولتكن كل منهما م ، ويدخل الضغط العالى إلى الجهاز بحيث يؤثر على السطح الخارجى للناقوس بينما يؤثر الضغط

المنخفض على السطح الداخلى ، وعندئذ فإن الفرق بين القوتين المؤثرتين نتيجة هذين الضغطين يساوى (ض<sub>١</sub> - ض<sub>٢</sub>) ١٢ × ٦٠ ن وباستعمال قانون هوك .

$$\frac{\text{التغير فى طول الزنبرك}}{\text{الطول الأصيل للزنبرك}} = \frac{\text{القوة المؤثرة}}{\text{معامل مرونة الزنبرك}}$$

وبما أن التغير فى طول الزنبرك يساوى التغير فى وضع الناقوس أى إزاحته

$$\therefore \text{التغير فى وضع الناقوس} = \frac{\text{الطول الأصيل للزنبرك} \times (\text{ض}_١ - \text{ض}_٢)}{\text{معامل مرونة الزنبرك}}$$

$$\text{أى أن إزاحة الناقوس} = \text{ثابت (ض}_١ - \text{ض}_٢) \\ = \text{ثابت} \times \text{الضغط الفرقى}$$

وعلى ذلك فإنه يمكن قياس الضغط الفرقى بواسطة قياس إزاحة الناقوس . ويتحدد مدى القياس للجهاز بقيمة معامل المرونة للزنبرك المستخدم ، وكذلك كثافة السائل المانع للتسرب . ويستخدم سائل عضوى كمانع تسرب لقياس مضغوط منخفضة تصل إلى بضعة ملليمترات من الزئبق . ويستخدم الزئبق بدلاً من السائل العضوى فى حالة قياس ضغوط عالية . ويمكن استخدام ناقوسين مقلوبين فى حمام زيت مع تعليقها فى عاتق ميزان محمول على محامل خاصة بحيث يكون الاحتكاك عندها أقل ما يمكن ويدخل الضغطان المطلوب مقارنتهما كل فى داخل ناقوس ويبين الفرق بين الضغطين (أى الضغط الفرقى) بواسطة مؤشر يتحرك مع عاتق الميزان ، ونظراً لأن قوة الاستعادة صغيرة إذ أنها ناتجة عن تغير موضع مركز عاتق الميزان ، فإن الجهاز يكون حساساً للتغيرات الضئيلة . ويمكن لهذا الجهاز كشف أى تغير فى الضغط يبلغ ٢,٥ × ١٠ مم ماء (مقياس) لذا فإنه يستخدم فى التحكم فى ضغوط الأفران .

### ٥ / ٦ / ٣ مقياس الضغط ذو الغشاء اللين :

توجد في الصناعة بعض حالات يلزم فيها قياس ضغوط في حدود (١٠ سم ماء) وفي الوقت ذاته تحتم اعتبارات خاصة بالمكان المتاح ، وبسهولة الخدمة ، عدم استعمال مانومتر سائلي ، ولكن يستخدم مقياس الضغط ذو الغشاء اللين وهو يتكون من مكبس محكم ضد التعرب بواسطة مادة لينة مرنة جداً لا تتطلب إلا قوة ضئيلة جداً لتغيير شكلها ، وتستعمل القوة الدافعة على المكبس بواسطة الضغط المسلط عليه في تغيير شكل زفيرك المدى وبالتالي تحريك المؤشر المتصل به ميكانيكياً .

### ٥ / ٧ / ٧ مقياس الضغط بموازنة القوة الناتجة على مساحة معلومة والإجهاد الناتج في وسط مون

#### ٥ / ٧ / ١ أنابيب بوردون :

وضع التصميم الأساسي لأنبوبة بوردون في فرنسا منذ أكثر من مائة وثلاثين عاماً ، ولم يتغير هذا التصميم منذ ذلك الحين إلا تغييراً طفيفاً . وطبقاً لما جاء في براءة اختراعها عام ١٨٥٢ فإن أنبوبة بوردون عبارة عن أنبوبة منحنية أو ملتوية ومقطعها العرضي غير دائري . وعند تسليط ضغط داخلها يزول الالتواء في شكلها وتصبح مستقيمة وتنقل حركة الطرف الحر لها إلى مؤشر أو عنصر بيان . والأنبوبة يابسة لدرجة أن معظم القوة الناتجة عن الضغط تستنفد في تغيير شكلها أو فردها ، أما الجزء اليسير المتبقى من هذه القوة الداخلية فإنه يكون متاحاً لتحريك وسيلة البيان وتحدد المادة التي تصنع منها أنبوبة بوردون بعدة عوامل منها عدد دورات التشغيل المطلوبة وقابلية المادة للتشكيل ونوع المائع الذي يقاس ضغطه ، وتوجد ثلاثة أشكال من أنابيب بوردون هي الدائرية والحلزونية واللولبية .



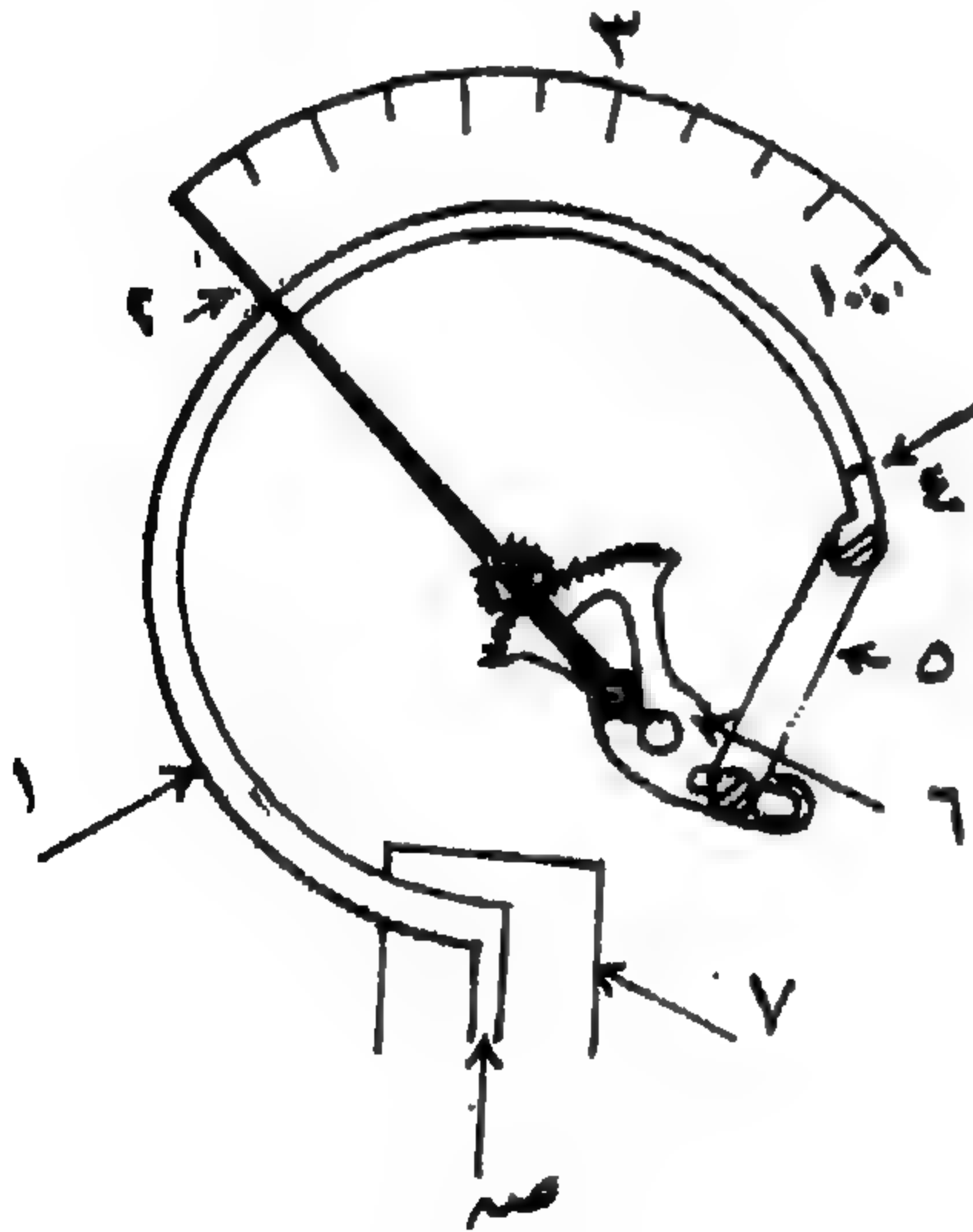
### ٥/٧/١ أنبوبة بوردون الدائرية :

تتكون أنبوبة بوردون ، فى أبسط صورها ، من أنبوبة ذات مقطع بيضاوى الشكل منحنية على شكل قوس دائرى يعمل زاوية مقدارها حوالى ٢٥٠° عند المركز ، وأحد طرفى الأنبوبة مغلق ويرتبط عن طريق وصلات خفيفة بآلية تشغيل المؤشر . وطرفها الثانى مثبت ومفتوح لتلقى المائع المطلوب قياس ضغطه . ويميل الضغط الداخلى إلى تغيير مقطع الأنبوبة من البيضاوى إلى الدائرى . وهذا يجعل الأنبوبة مستقيمة . وتؤدى حركة الطرف الحر الناتجة إلى تحريك المؤشر على تدريجه . وعند قياس ضغط يقل عن الضغط الجوى فإن الطرف الحر للأنبوبة-يميل إلى التحرك باتجاه المسند ، لذلك يجب عكس آلية تحريك المؤشر إذا أريد له أن يبين الفرق بين الضغط المسلط والضغط الجوى فى اتجاه عقارب الساعة على التدريج . وتصنع الأنبوبة من مادة يتم اختيارها تبعاً لطبيعة المائع الذى يقاس ضغطه ويعتمد سمكها على مدى القياس المطلوب . وتحدد الأبعاد الحقيقية للأنبوبة القوة المتاحة لتحريك آلية المؤشر ، ويجب أن تكون هذه القوة بالقدر الكافى الذى يمكن معه إهمال قوة الاحتكاك . وعندما لا تكون هناك أية مشاكل خاصة بالصدا ، فإنه يمكن صناعة الأنبوبة بطريقة السحب من أنبوبة فوسفور- برونز ذات وصلات ملحومة بسبيكة رنخوة أو بالنحاس وذلك لمدى ضغط ١-٧٠ بار (مقياس) ، كما تستخدم أنبوبة بريليوم- نحاس مسحوبة ومعالجة حرارياً وذات وصلات ملحومة بالبخار لضغوط أعلى تصل إلى ٣٥٠ باراً (مقياس) ، أنبوبة من سبيكة الصلب مشكلة بالسحب ذات وصلات ملولبة وملحومة بالنسبة لضغوط أعلى من ٣٥٠ باراً وإذا أريد أن تكون الأنبوبة مقاومة للتآكل بالسائل الذى يقاس ضغطه فإنه تستخدم أنبوبة صلب كربونى مشكلة بالسحب وذات وصلات ملحومة بسبيكة رنخوة الممدى ١-٣٥ باراً (مقياس) ، أنبوبة فولاذ لا يصداً مشكلة بالسحب وذات وصلات ملحومة للمدى ٢-٧٠ باراً ، وأنبوبة مونل k مشكلة بالسحب ، وذات وصلات ملولبة ، وملحومة للمدى ٧٠-١٤٠٠ باراً .



ويمكن ، بالإضافة إلى قياس ضغوط أكبر من الضغط الجوي ، استخدام أنبوبة بوردون من هذا النوع لقياس ضغوط أقل من الضغط الجوي . ويمكن استخدامها لقياس ضغط البخار في غلايات ثابتة أو غلايات ماكينات الديزل وهي تستخدم على نطاق واسع ، لقياس ضغط كل من الماء والهواء وثنائي أكسيد الكربون ، وأنواع أخرى شتى من السوائل والغازات . ويوضح الشكل رقم (٣٦) أنبوبة بوردون من النوع C وأجزائها المختلفة . ويمكن قياس الضغوط بواسطة أنبوبة بوردون من هذا النوع والخاصة للأغراض الصناعية بدقة  $\pm 0.5\%$  من المدى .

وإذا اختلفت درجة حرارة السائل الذي يقاس ضغطه عن درجة الحرارة التي تمت معايرة المقياس عندها ، فإن القراءات تكون بها أخطاء عند الصفر ، وعند أية نقطة



الشكل رقم (٣٦)

- (١) أنبوبة «بوردون» .
- (٢) مؤشر .
- (٣) تدريج .
- (٤) طرف مغلق .
- (٥) وصلة .
- (٦) ترس قطاعي وترس صغير .
- (٧) جلبية .

أخرى على التدريج . ويعتمد خطأ الصفر على معامل تمدد مواد أنبوبة بوردون ، والوصلة . فمثلاً خطأ الصفر بالنسبة لمقياس ضغط ذي وصلة مصنوعة من الفوسفور-برونز يساوي ٠,١ في المائة من انحراف التدريج الكامل للارتفاع في درجة الحرارة قدره

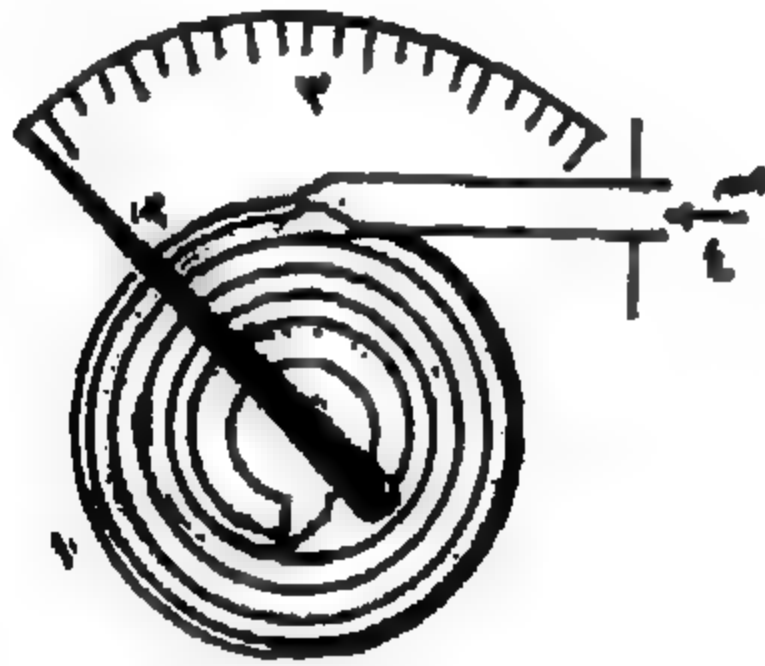
٢٠ م ، وبالنسبة لمقياس ضغطه مماثل ذى أنبوبة مصنوعة من الصلب فإن هذا الخطأ يساوى ٠,٥ في المائة من التدرج الكامل عند درجة الحرارة ذاتها .

ويؤدى الارتفاع فى درجة الحرارة إلى نقص معامل «يونج» للمرونة الخاص بمادة الأنبوبة وهذا يؤدى إلى زيادة انحراف طرف أنبوبة بوردون بالنسبة لضغط مسلط معين . والخطأ الناتج عن هذا التأثير - بالنسبة لارتفاع فى درجة الحرارة مقداره ٢٠ م فى مدى درجات الحرارة المعتادة يكون حوالى ٠,٧ ٪ من الضغط المسلط فى أنابيب مصنوعة من الفوسفور برونز ، وحوالى ٠,٥ ٪ للأنابيب المصنوعة من سبائك الصلب .

### أنبوبة بوردون الحلزونية :

تستخدم أنبوبة بوردون الحلزونية (شكل رقم ٣٧) عندما تكون حركة الطرف الحر

الشكل رقم (٣٧)



(١) أنبوبة بوردون الحلزونية .

١ - حلزون .

٢ - مؤشر .

٣ - تدرج .

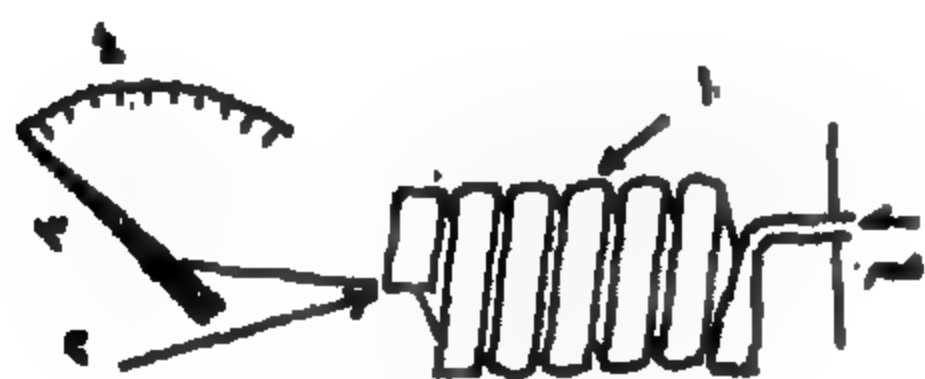
٤ - مدخل الضغط المراد قياسه .

فى أنبوبة بوردون على شكل C غير كافية لإعطاء الحركة المطلوبة ، وحيث إن الطرف الحر تكون حركته أكبر فى حالة الأنبوبة الحلزونية فإنه لا يكون من الضرورى فى معظم الأحوال استخدام تكبير ميكانيكى ، وبذلك فإنه يمكن الحصول على دقة أفضل . وتصنع الأنبوبة الحلزونية بلف أنبوبة ذات مقطع مفلطح لتتخذ شكل حلزون مكون من عدة لفات ، وعندما يؤثر الضغط فى داخل الأنبوبة فإنه يميل لفك اللفات معطياً بذلك حركة أطول نسبياً للطرف وهذه الحركة يمكن استخدامها للدلالة على الضغط أولنقله . وتصنع أنابيب هذا النوع من صلب الكروم موليدنوم وتلحم جميع الوصلات وتعالج

بالحرارة لإزالة أية إجهادات في الأنبوبة ، وهذا يضمن تجانس خصائص المرونة في جميع أجزاء الأنبوبة . وفي العادة تكون دقة الأنبوبة الحلزونية حوالى  $\pm 0.5\%$  .  
ويستخدم مقياس الضغط ذو الأنبوبة الحلزونية لقياس الضغوط المنخفضة .

### أنبوبة بوردون اللولبية :

هذه الأنبوبة (شكل ٣٨) تشبه أنبوبة بوردون الحلزونية ، غير أنها تلف على شكل لولب ، وهذا يزيد في حركة الطرف الحر معطياً تكبيراً أكبر مما تعطى الأنبوبة الحلزونية .  
وهي تستخدم في قياسات الضغوط العالية . ويعتمد عدد لفات الأنبوبة على مدى الضغط ، وتقل عدد اللفات إلى حوالى ثلاث إذا كان امتداد الضغوط المقاسة صغيراً .  
أنبوبة بوردون اللولبية .



(١) لولب .

(٢) طرف يتحرك .

(٣) مؤشر .

(٤) تدرج .

ض = الضغط المقيس .

الشكل رقم (٣٨)

وقد تبلغ ١٦ لفة أو أكثر لامتداد واسع . وتتراوح دقة الأنابيب اللولبية ما بين  $\pm \frac{1}{2}\%$  إلى  $\pm 1\%$  من امتداد التدرج .

### ٥ / ٧ / ٢ الأغشية :

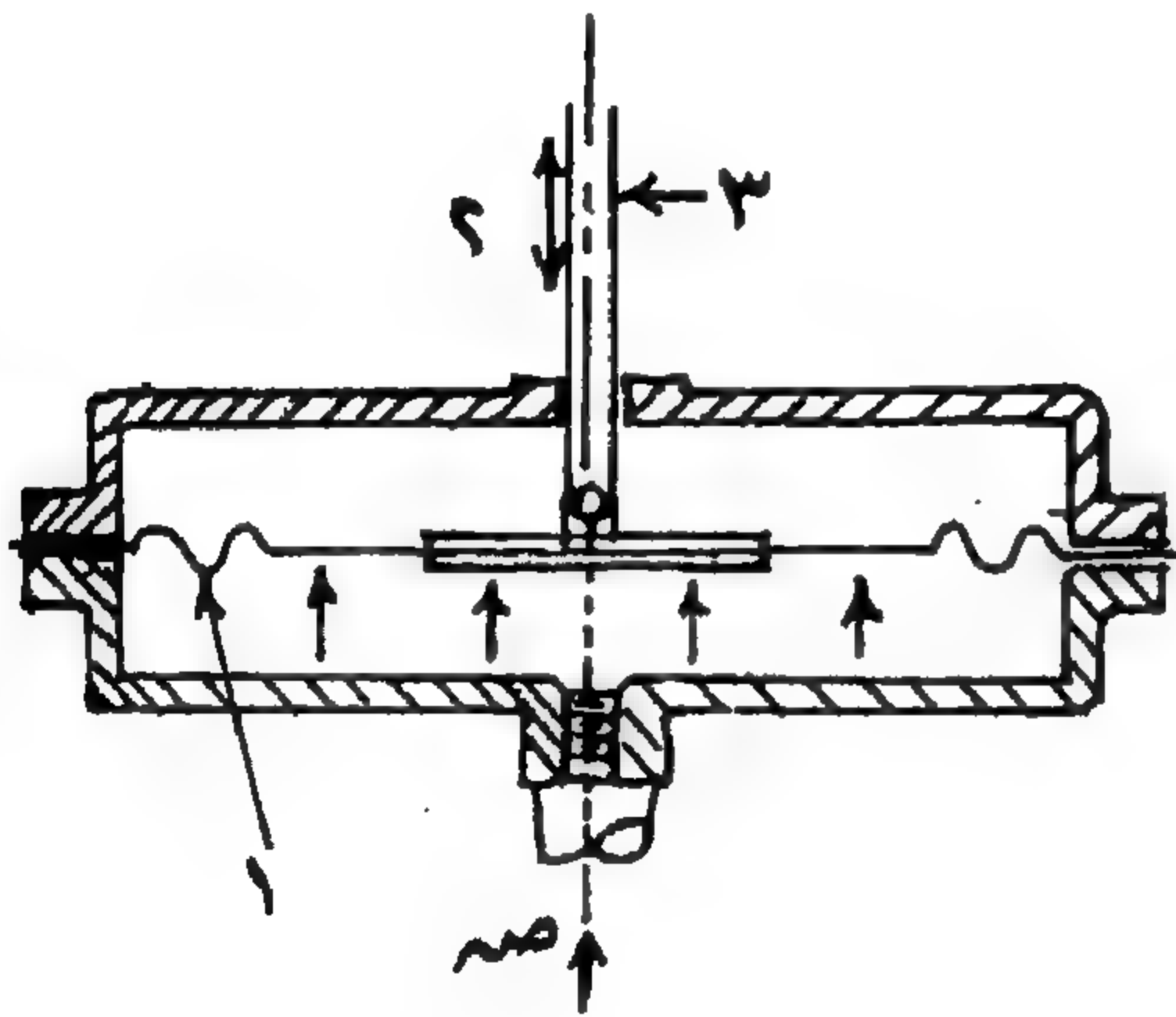
يوجد نوعان من الأغشية أولها الأغشية المعدنية الصلبة أو المنفاخ وثانيها الأغشية الرخوة .

### ٥ / ٦ / ١ الأغشية المعدنية الصلبة :

أبسط أنواع مقاييس الضغط ذى الغشاء (الرق) ، مقياس «سيفر» ، وهو يتكون

من غشاء مموج قطره حوالى ٦٥ مم ومصنوع من الفولاذ الذى لا يصدأ الذى تم تصليده ، ومعالجته حراريا . وهذا الغشاء مثبت بين شفتين ، ويسلط الضغط على جانبه الأسفل فى غرفة خاصة ، وتنقل حركة مركز الغشاء خلال وصلة مكونة من كرة وجلبة ، ووصلة تكبير إلى المؤشر كما فى مقياس بوردون ، والشفة العليا مسطحة لمنع أية حركة إضافية للغشاء عندما يصل المؤشر إلى نهاية التدرج حتى لا يتحطم الغشاء بضغط أعلى بدرجة ملموسة من أقصى ضغط مسموح بقياسه .

وعندما يراد استخدام المقياس لموائع مسببة للصدأ ، تصنع الغرفة من مادة مقاومة للصدأ (شكل رقم ٣٩) مثل الصلب الذى لا يصدأ أو الصلب الطرى المغطى بمادة



الشكل رقم (٣٩)

مقياس ضغط بسيط ذو غشاء .

(١) غشاء مموج .

(٢) الحركة .

(٣) قضيب الدفع إلى وسيلة التكبير داخل

علبة الجهاز .

مقاومة للصدأ مثل الرصاص . وبالإضافة إلى ذلك يتم حماية الغشاء بطلائه بطبقة من مادة مناسبة أو بتغطيته بقرص رقيق من الفضة . ويمكن استخدام هذا النوع من المقاييس ، لقياس ضغوط تقل عن الضغط الجوى أو تزيد عليه ، غير أن وقاية أغشية المقاييس بالنسبة للضغوط التى تقل عن الضغط الجوى أكثر صعوبة ، وذلك نظراً لميل الغشاء والطبقة الواقية إلى الانفصال عن بعضها تحت تأثير الضغط المنخفض . ويعطى هذا النوع من مقاييس الضغط بياناً أفضل وأكثر إيجابية عما تعطيه مقاييس بوردون لمدى

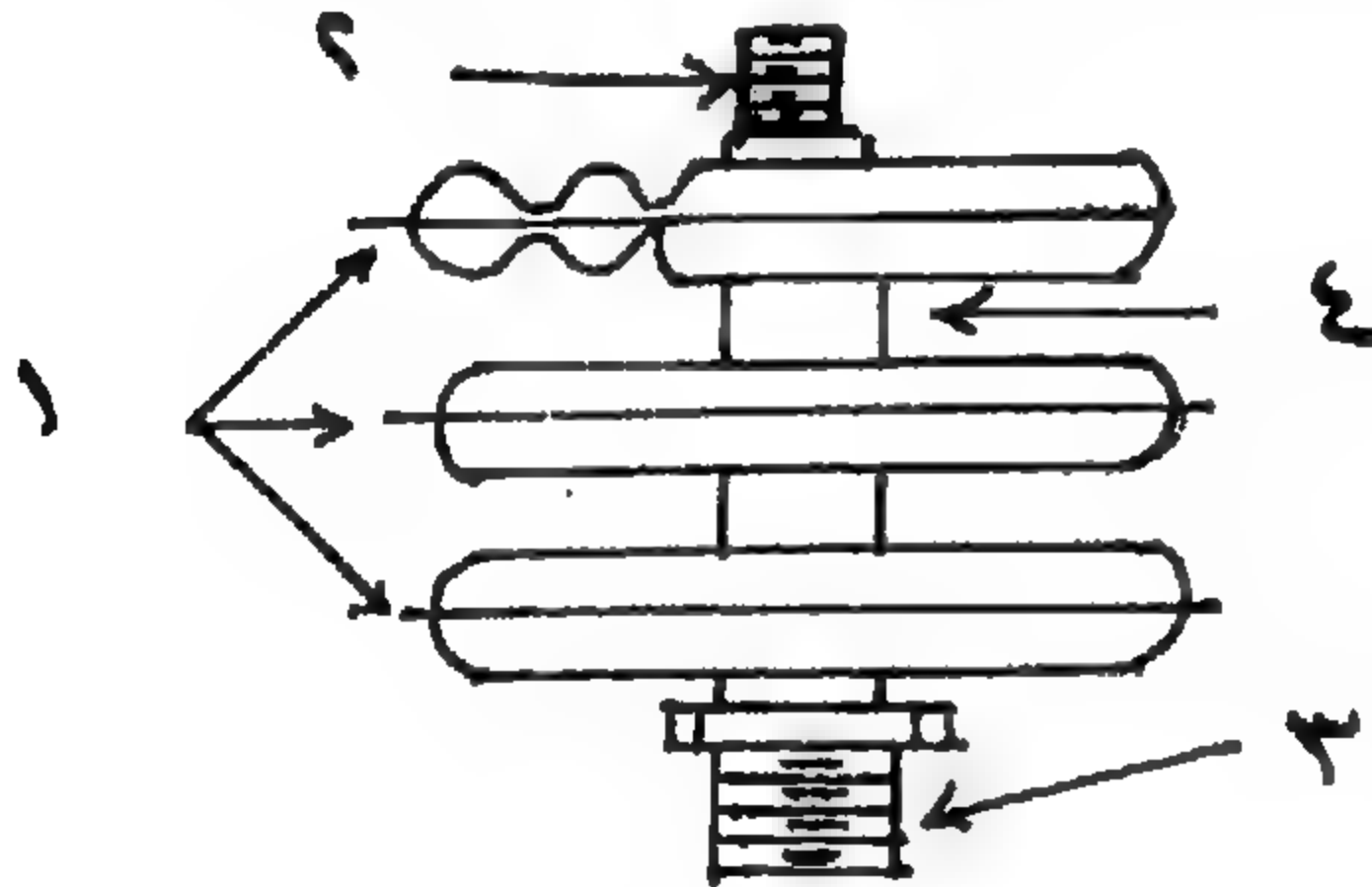
الضغوط المنخفضة وبصفة خاصة بالنسبة للمقاييس المدرجة تحت بار واحد كما أنها مناسبة أيضاً لقياس الضغوط المتغيرة .

وبدلاً من الغشاء (العنصر الحساس للضغط) السابق الإشارة إليه في مقياس «سيفر» فإنه يتم في بعض الحالات لصق غشاءين معا عند محيطها باللحام بمادة لاحمة أو بالضغط ليكونا كبسولة (الشكل ٤٠)



الشكل رقم (٤٠)  
نوعان من الكبسولات .

وتستخدم كبسولة أو أكثر لتكوين عنصر حساس للضغط (شكل ٤١) .

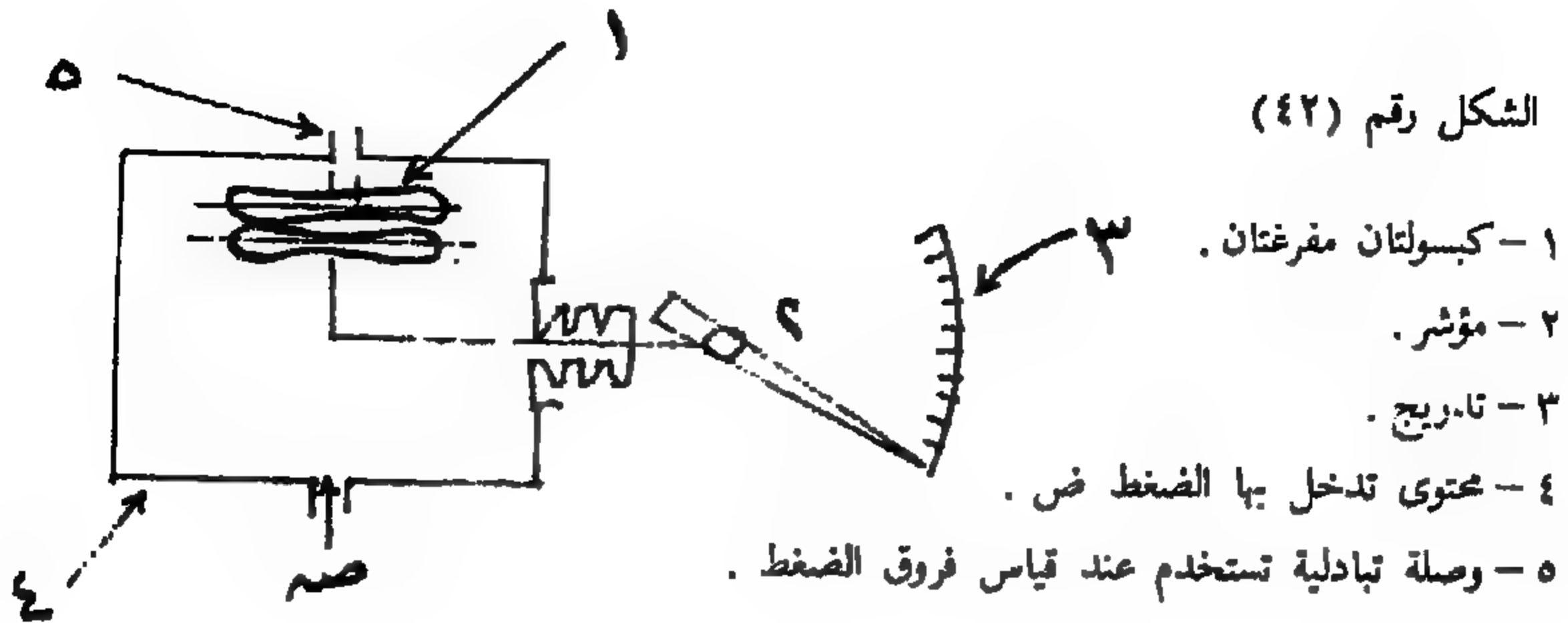


الشكل رقم (٤١)  
ثلاث كبسولات مستخدمة معاً لتكون  
العنصر الحساس للضغط .  
(١) ثلاثة كبسولات .  
(٢) الطرف الحر .  
(٣) الطرف المثبت .  
(٤) فاصلات .

وعندما يقاس الضغط المطلق فإنه يتم استخدام كبسولات مفرغة ويوضح شكل (٤٢) كبسولتين مفرغتين ومستخدمتين في قياس الضغط المطلق ، وهما مزودتان بتوصيلة تبادلية يمكن استخدامها عندما يراد قياس الضغوط الفرقية .

### المنفاخ :

يستخدم المنفاخ كعنصر حساس للضغط في كثير من المقاييس بدلاً من الكبسولات . وقد كانت المنافيخ تنتج لسنوات طويلة ، بسلسلة من عمليات التشكيل

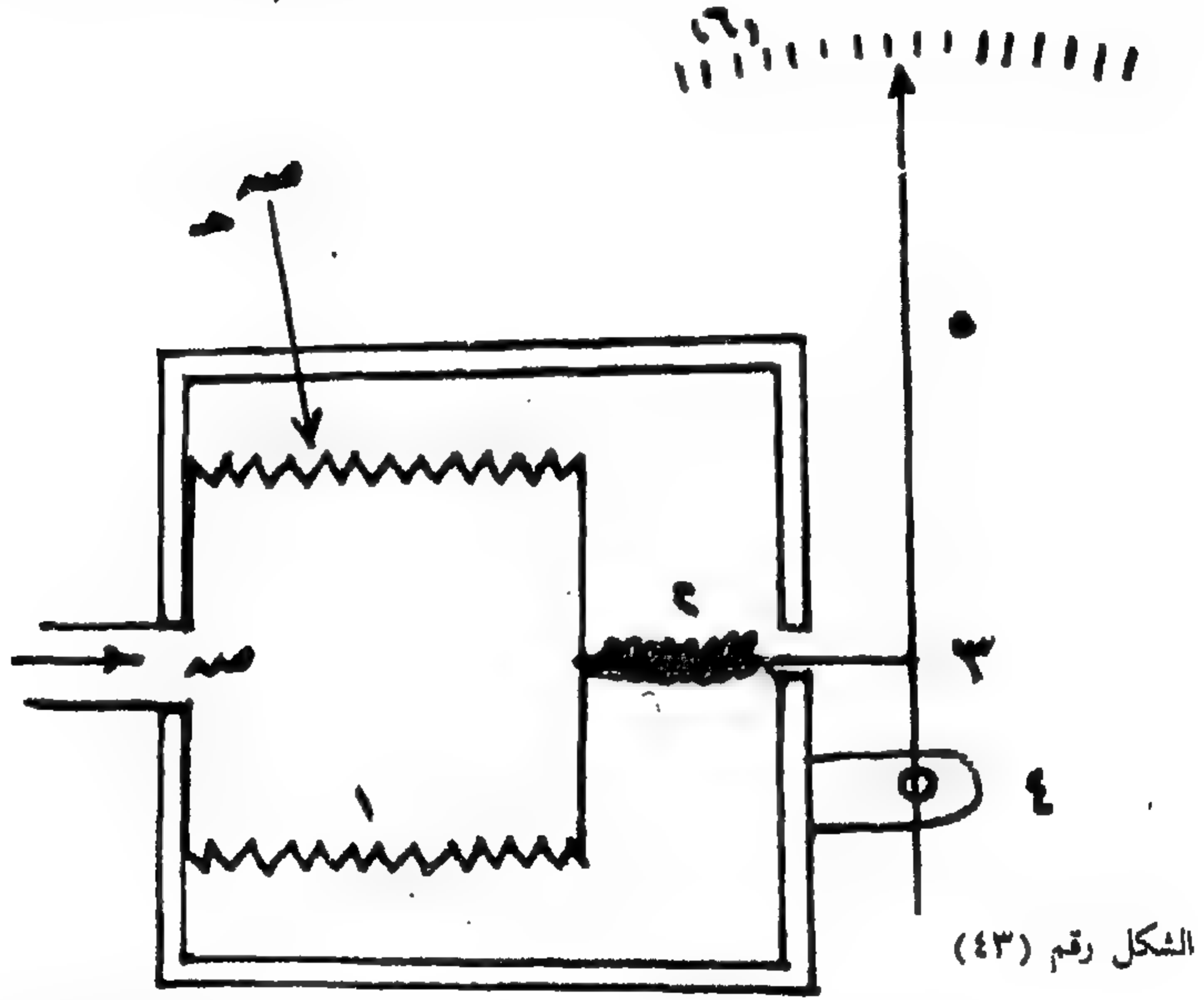


بالرحو أو الدلفنة تتخللها عمليات التخمير (التلدين) فالمعالجة في حمام حمضي بتنظيف سطح المعدن ثم الغسيل ، غير أن التقدم في إنتاج السبائك ، ذات التركيب المستمر والمنتظم والخالية من الشوائب ، قد جعل بالإمكان تصنيع المنافخ بعملية هيدروليكية تتضمن خطوة واحدة ، ويصنع المنفاخ حالياً نتيجة للتقدم المشار إليه بواسطة تشكيل المنفاخ حالياً من أنبوبة محكمة الغلق في أحد طرفيها ، وواقعة تحت ضغط داخلي لسائل أو غاز داخل قالب قابل للطي . ويتكون القالب من مجموعة من الألواح مساوية في عددها لعدد ليات المنفاخ ، وتبعد إحداها عن الأخرى بمسافة معينة ثابتة ، وتحيط بالأنبوبة . ويؤدي الضغط الداخلي إلى أن تتسلى الأنبوبة بين الألواح بينما ينطوى القالب باتجاه الطرف . لذلك يتشكل المنفاخ في عملية واحدة مستمرة .

وتجدر الإشارة إلى أنه حيث إن الضغط الداخلي يكون في حدود بضع مئات الآلاف بار فإن المنفاخ يتحطم أثناء تشكيله إذا كان بالأنبوبة أية عيوب . وتنتج المنافخ أشكال متنوعة من النحاس الأصفر والألمبرو (سبيكة تشبه النحاس الأصفر مع إضافة ٢٪ ألومنيوم) وهما مادتان مقاومتان للصدأ تجعلان المنافخ صالحة للاستخدام في الماء المالح أو ماء البحر .

وتعرف لدانة المنفاخ بأنها التغير في الطول عندما يسلط عليها ضغط قدره ان / م<sup>٢</sup> وهذه اللدانة تتناسب طردياً مع عدد ليات المنفاخ ، وعكسياً مع سمك جدارها ومعامل

مرونتها . كما يعرف معامل الانضغاط للمنفخ بأنه الحمل (بالنيوتن) الذى إذا سلط على المنفخ عند طرفه الحرفانه يضغطه بمقدار ١ مم ، ويتناسب معامل الانضغاط طردياً مع معامل مرونة مادة المنفخ ومع مكعب سمك جداره ، وعكسياً مع عدد الليات ، ومربع القطر الخارجى للمنفخ . ولزيادة معامل الانضغاط فى بعض الاستعمالات فيمكن استخدام زنبرك داخل المنفخ بحيث يصاد القوة التى تعمل على ضغط المنفخ .



مقطع بسيط لمقياس ضغط ذى منفخ يستخدم لقياس الضغط المنخفض .

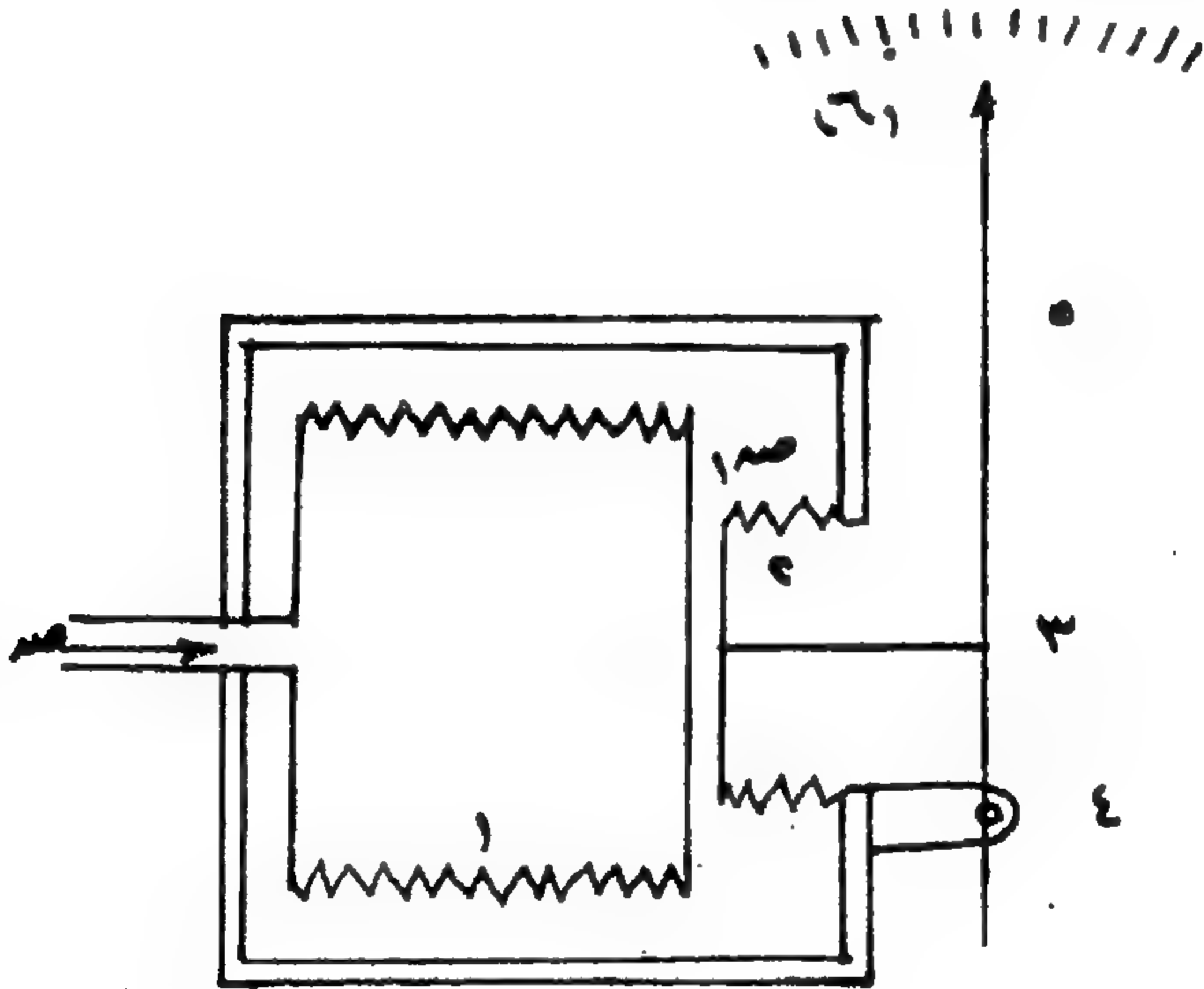
- |             |                   |
|-------------|-------------------|
| (١) منفخ .  | (٤) محور إرتكاز . |
| (٢) زنبرك . | (٥) مؤشر .        |
| (٣) وصلة .  | (٦) تدريج .       |

تطبيقات المنفخ فى مقياس الضغط :

عند استخدام منفخ ذى مساحة كبيرة . وعدد كبير من الليات . فإن الضغوط المنخفضة جداً تخلق قوى ملموسة ويمكن موازنتها بالفعل الزنبركى للمنفخ فقط ،



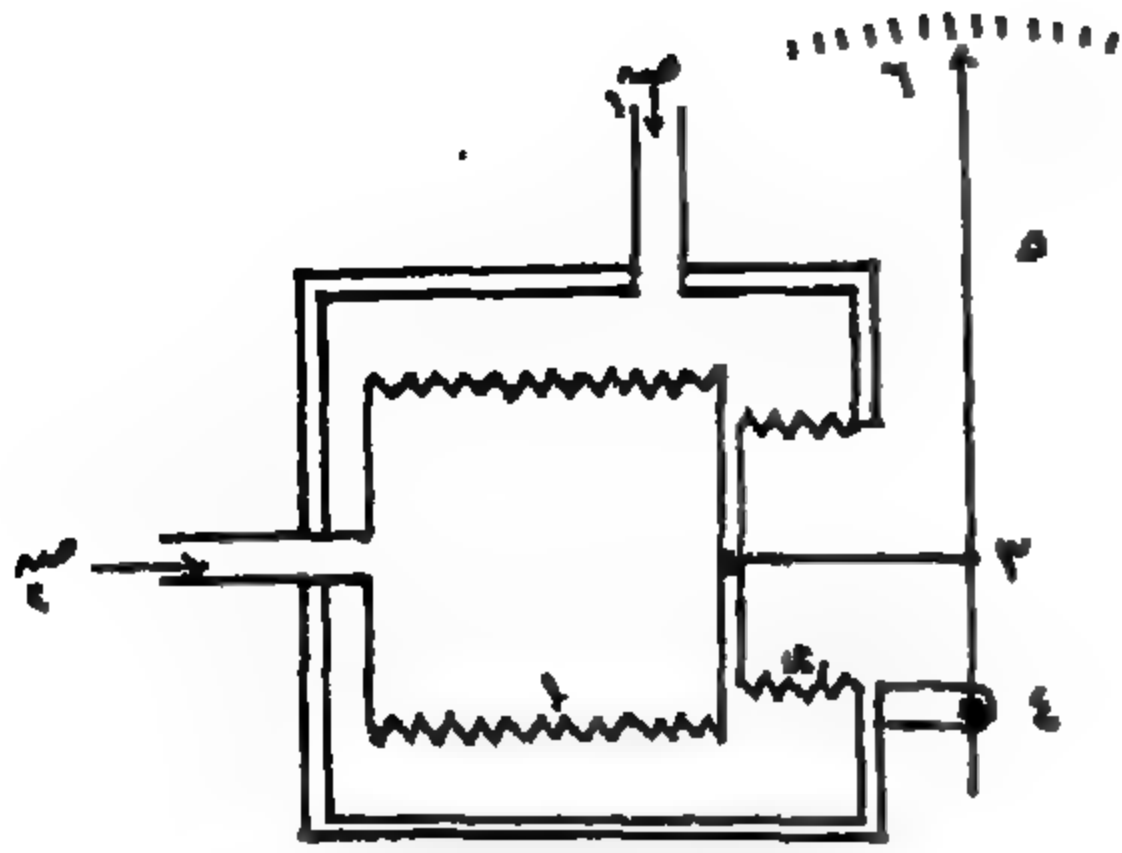
أوباستخدام زنبرك لمعاونة مقاومة المنفاخ . ويمكن بالاختبار المناسب لمادة وعدد ليات المنفاخ ، مع استعمال زنبرك معاير قياس ضغوط صغيرة جداً تتراوح ما بين ٠,٢ إلى ٣٥٠ كيلوباسكال (جزء من أوقية على البوصة المربعة - ٥٠ باوند / بوصة مربعة) ويجب ملاحظة أن الضغط الجوي يؤثر على السطح الخارجى للمنفاخ مما يجعله يستجيب فقط للضغوط التى تزيد على الضغط الجوى ويوضح شكل رقم (٤٣) أبسط أنواع المنافيخ وهو فى الحقيقة جهاز لقياس الضغط الفرقى .



الشكل رقم (٤٤)

قطاع خلال رسم تخطيطى لقياس الضغط المطلق

- (١) منفاخ عامل .
- (٢) منفاخ مانع للتسرب .
- (٣) وصلة .
- (٤) محور إرتكاز .
- (٥) مؤشر .
- (٦) تدريخ .



الشكل رقم (٤٥)

مقياس ضغط فرق باستخدام منفاخ .

(١) منفاخ عامل .

(٢) منفاخ مانع للتسرب .

(٣) وصلة .

(٤) محور الارتكاز .

(٥) مؤشر .

(٦) تدريج .

### مقياس الضغط المطلق ذو المنفاخ :

(شكل ٤٤) إذا كان المطلوب قياس ضغوط صغيرة فإن الضغط الجوي يمثل مشكلة . وللتغلب على هذه المشكلة يمكن وضع المنفاخ داخل محتوى محكم (ضد تسرب الهواء) ومفرغ من الهواء تقريباً ، وفي هذه الحالة فإن المنفاخ سيكون واقعاً تحت تأثير ضغط من الداخل فقط ويستجيب له ويعطي المقياس قيمة الضغط المطلق .

### مقياس الضغط الفرق ذو المنفاخ :

ينحصر اهتمامنا في حالات كثيرة بقياس الضغط الفرق فقط ويحدث ذلك بصفة مستمرة عندما يراد قياس الضغط لمائع للحصول على معدل تدفقه . ويمكن استعمال المنفاخ كجهاز لقياس فروق الضغط (الشكل ٤٥) وذلك بتعريضه من الداخل للضغط الأعلى ومن الخارج إلى الضغط الأقل ، وهو في هذه الحالة سوف يقرأ الفرق بين الضغطين المسلطين . ويجب مراعاة أنه لو تم التأثير بالضغط الأكبر على المنفاخ من الخارج . بينما يؤثر بالضغط على الأقل من الداخل فإن المنفاخ لن يعطي قراءات موجبة .

### الغشاء (الرق) الرخو :

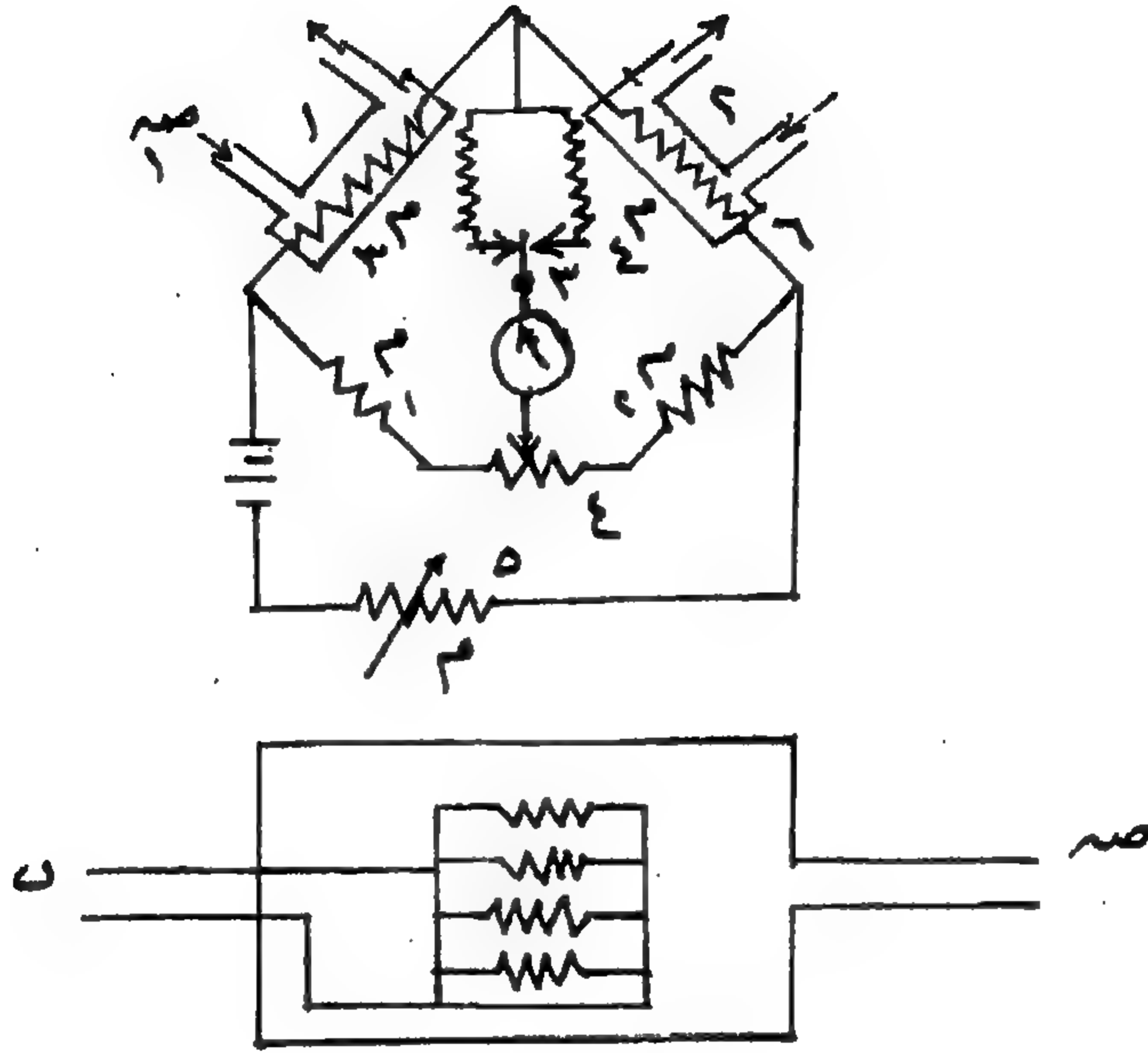
يستخدم هذا النوع من الأغشية كعنصر لقياس مدلول مقياس الضغط «أو الضغط

الفرق . ويتكون الجزء الأساسى فى المقياس ذى الغشاء الرخو من غشاء ( رقيق ) قابل للثني من نوع خاص من الجلد لقياس الضغوط المنخفضة (حتى ٢٠٠ مم ماء مقياس) أو من قماش نايلون مشرب المضغوط العالية . ويستند الغشاء من كلا جانبيه على لوحين من معدن خفيف . والغشاء مرتب بحيث يوجد به ارتخاء ملموس يسمح بالحركة الكاملة لشوط واسع . ويحدد شوط الغشاء بوصول الألواح الساندة إلى السكون على مصد ، لكي تكون الألواح مستندة فى وضع زيادة التحميل . ومبدأ التشغيل هنا يماثل مبدأ تشغيل المانومتر ذى المكبس حيث يقوم الغشاء هنا بعملية الإحكام (كمانع للتسرب) . لهذا فإن القوة المؤثرة على الغشاء تكون حاصل ضرب المساحة الفعالة للألواح الساندة فى الفرق بين الضغطين المؤثرين على السطحين . وتتأثر المساحة الفعلية للألواح مباشرة بدرجة ارتخاء الغشاء ، غير أنها لا تتجاوز بأية حال من الأحوال ، مساحة الألواح مضافاً إليها نصف الحيز الخلقى بين الألواح والعلبة . ويوجد زنبرك معاير من البريليوم - النحاس مركب بحيث يعمل فى اتجاه مضاد لحركة الغشاء .

٨/٥ طرق أخرى لقياس الضغط :

١/٨/٥ مقياس «بيرانى» :

(شكل رقم ٤٦ ، وهو عبارة عن قنطرة «هويتستون» ذات مصدر قدرة منظم ليزود خلية القياس بخلية تعويض درجة الحرارة بدخول حرارى ثابت . والضغط فى خلية التعويض مخفض إلى حوالى ١ ميكرومتر زئبق . وتحت هذه الظروف فإن الطاقة المفقودة بواسطة السلك المسخن سوف تتقل بالإشعاع أو تفقد على طول أسلاك التوصيل الخاصة بالمدخل . وتستقبل خلية القياس نفس الطاقة ، غير أنها قد تفقد حرارة بالحمل أو التوصيل بأى غاز موجود بالإضافة إلى طرق فقد الحرارة التى تفقد بها الخلية المرجع . ومادامت طاقة الدخول واحدة لكل من الخليتين ، وفى الوقت ذاته تبرد خلية القياس بمعدل أكبر ، فإنه بالتالى تنخفض درجة حرارتها أكثر من الخلية المرجع ، ويؤدى ذلك



الشكل رقم (٤٦)

مقياس (بيراني) .

(١) خلية قياس توصيل بالضغط المنخفض ض .

(٢) خلية مرجع (يمكن تفريغها وإغلاقها بإحكام .

(٣) مفتاح المدى .

(٤) بونثيو متر معايرة .

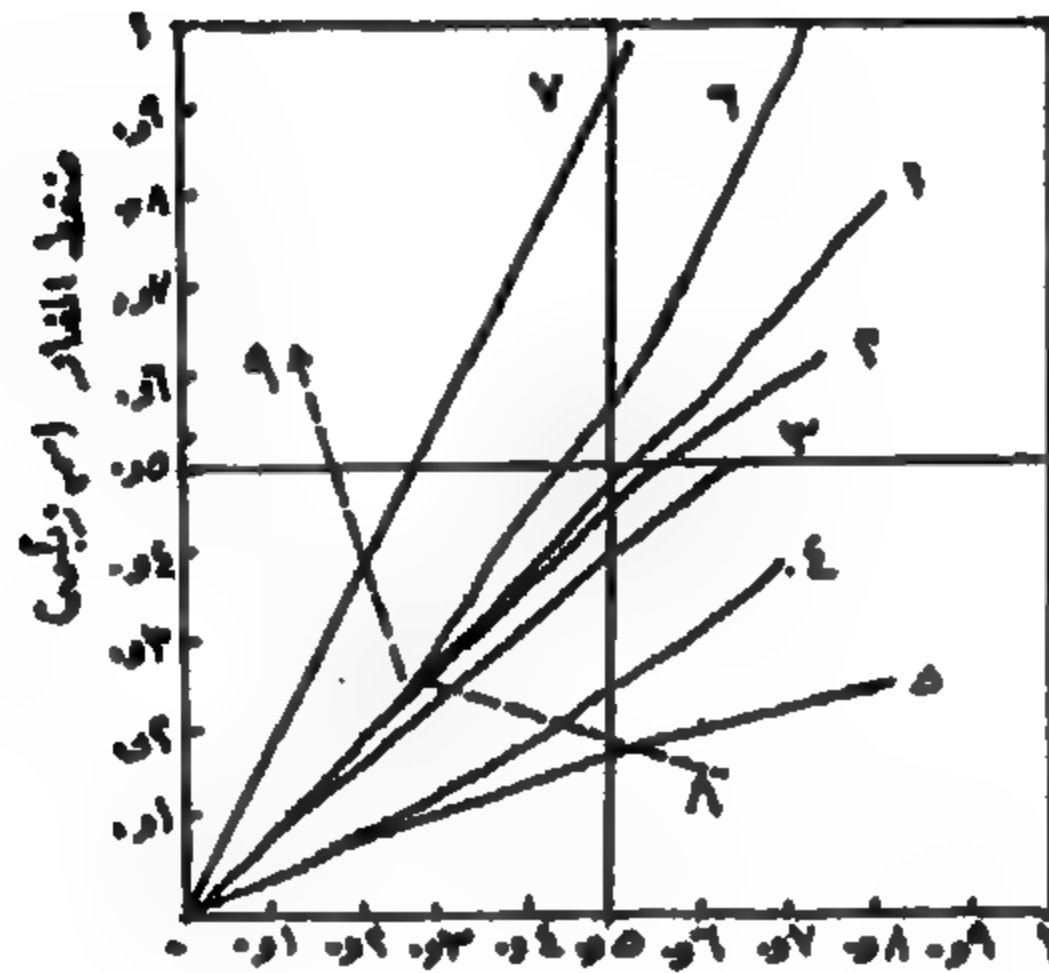
(٥) ريوسات .

(٦) فتيلة ساخنة .

(١) تسخين .

(ب) مصدر قدرة ، ض = الضغط .

إلى اختلال في توازن الجهد بقنطرة « هونتستون » ويمكن قياسه بآية طريقة مناسبة ، ويعتمد أداء مقياس بيراني على نوع الغاز المستخدم (شكل ٤٧)



الشكل رقم (٤٧)

تدريج بالمليمتر زئبق (معاير بالنسبة للهواء) .  
الاستجابة النسبية للغازات المختلفة في مقياس بيراني مقارنة  
بالنسبة للهواء .

(١) هواء (تستخدم لمعايرة المقياس) .

(٢) بخار ماء .

(٣) هليوم .

(٤) إيثيلين .

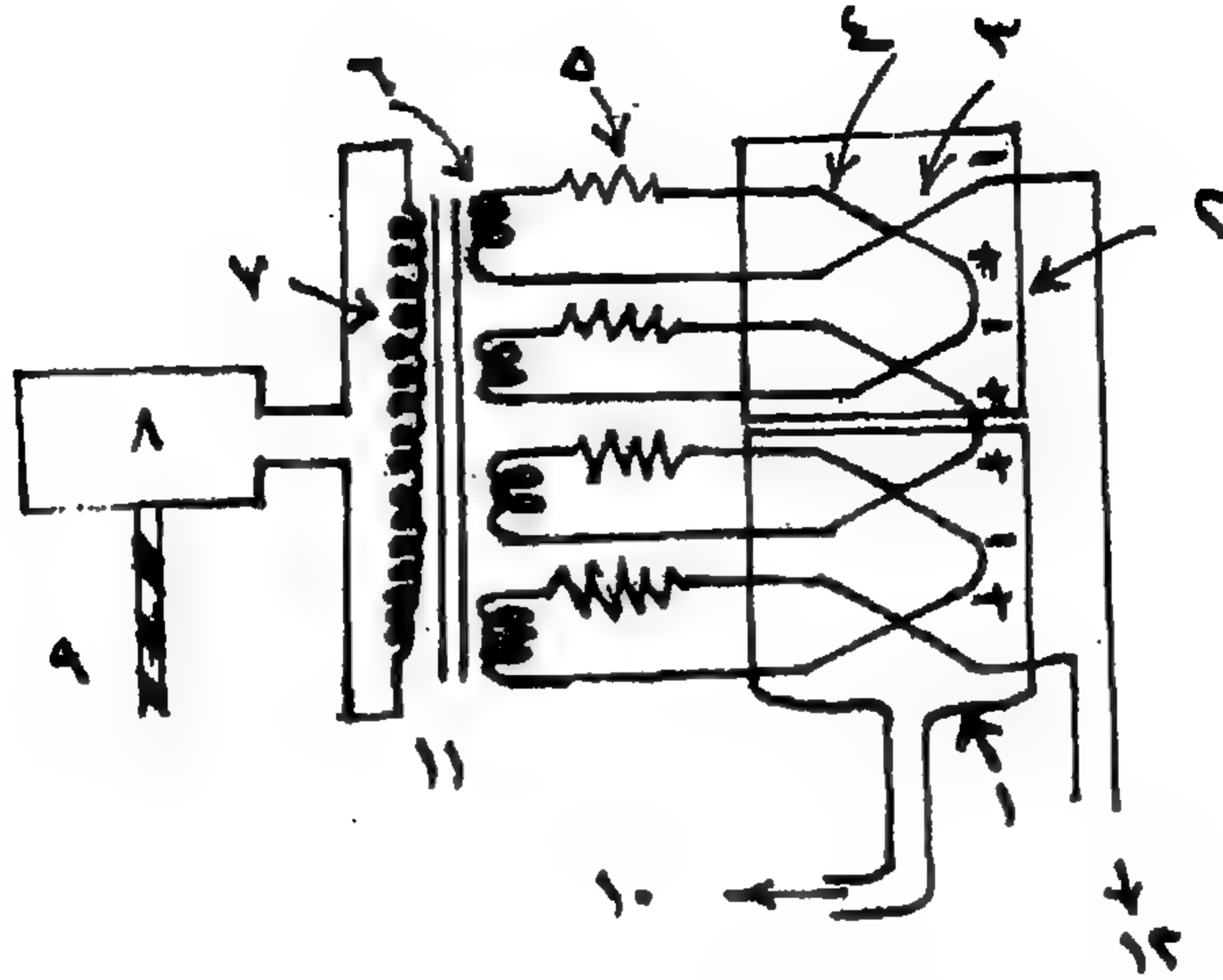
(٥) هيدروجين .

(٦) ثاني أكسيد الكربون .

(٧) أرجون .

(٨) تأثير تبريد أكبر من الهواء .

(٩) تأثير تبريد أقل من الهواء .



الشكل رقم (٤٨)

- مقياس التفريغ ذو المزدوجة .  
 يستخدم مصدر قدرة منظم للمحافظة على الحساسية  
 والكفاءة وعندما يتساوى ضغط كل من خلية القياس  
 والخلية المرجعية تتساوى درجة حرارة الفتائل وحيث  
 تتساوى القوة الدافعة في المزدوجات ويكون فرق الجهد صفراً .
- (١) خلية القياس .
  - (٢) الخلية المرجعية .
  - (٣) ازدواجات .
  - (٤) فتائل .
  - (٥) مقاومات معايرة .
  - (٦) ملفات ثانوية .
  - (٧) ملف ابتدائي .
  - (٨) منظم جهد .
  - (٩) خط الجهد .
  - (١٠) توصيلة الضغط للمقياس .
  - (١١) محول .
  - (١٢) توصيلتان لمقياس الجهد .





### ٢/٨/٥ مقياس التفريغ ذو المزدوجة الحرارية :

يوجد تشابه كبير بين هذا المقياس : وبين مقياس بيراني فالتركيب والمدى والامتداد للضغط التي يمكن قياسها لكل منهما واحد . إذ يتكون مقياس التفريغ شكل رقم (٤٨) من خليتين متماثلتين تماماً ، يوجد بكل منهما مقاومة تسخن كهربياً وتفرغ إحدى الخليتين وتتخذ كمرجع . أما الأخرى وهي التي يوصل بها الضغط المطلوب قياسه فتسمى خلية القياس ، ووجود غاز بخلية القياس يبرد المقاومة بها إلى درجة أقل من درجة حرارة المقاومة الموجودة بالخلية المرجع وتوصل مزدوجة حرارية بالنقطة الوصلية للمقاومة بالخلية المرجع وأخرى لمقاومة خلية القياس : وهاتان المزدوجتان تعطيان قوة دافعة كهربائية تتناسب مع فرق درجة الحرارة بين وصلتيهما ، فإذا وضعت الوصلات المرجعية للمزدوجتين في درجة حرارة واحدة ووصلت المزدوجتان على التوالي ولكن متعاكستين ، فإن القوة الدافعة الكهربائية الناتجة سوف تكون انعكاساً للفرق في د.جتي حرارتى الوصلات الساخنة ويوضح الشكل رقم (٤٩) التصحيحات الواجب إدخالها عند قياس ضغط غاز غير الهواء .

### ٣/٨/٥ مقياس التفريغ بالتأين بواسطة فتيلة ساخنة :

يتكون هذا المقياس من خلية بها ثلاث إلكترويدات هي كاثود ثرمولى يعطى دفقاً غزيراً من الإلكترونات عند ارتفاع حرارته ، وشبكة . ولوح ويوضح الشكل رقم (٥٠) مقياس التفريغ بالتأين (الفتيلة الساخنة) ويحافظ على جهد الشبكة عند +١٥٠ فولت وجهد اللوح عند جهد سالب مقداره ٢٥ فولت على وجه التقريب . ويؤدي جهد الشبكة الموجب والعالي أيضاً إلى تسارع الإلكترونات بعيداً عن الكاثود ، بعض هذه الإلكترونات يستطيع المرور عبر الشبكة ويصدم قسم منها أثناء حركتها بعض جزيئات الغاز التي قد تكون موجودة فإذا كانت طاقتها كافية فإن جزيئات الغاز تنقسم إلى جسيمات موجبة وأخرى سالبة الشحنة وتنجذب الجسيمات الموجبة نحو

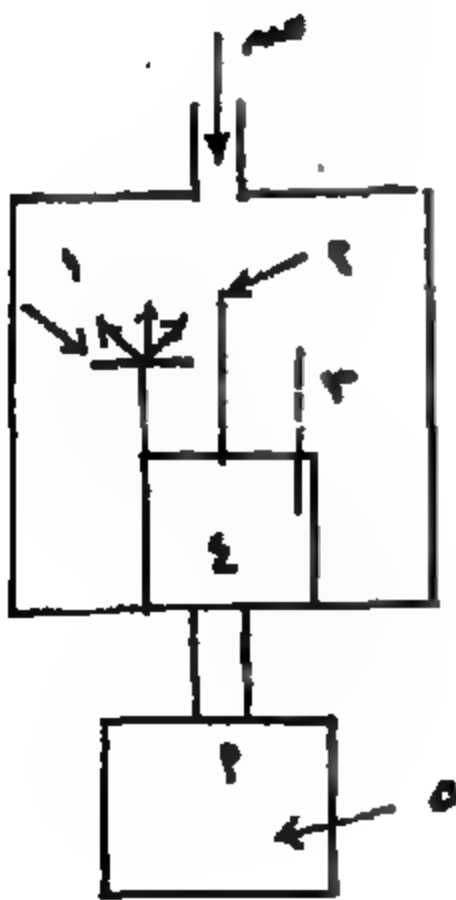
اللوح فتعطى تياراً يمكن كشفه وتؤثر درجة الحرارة العالية للكاثود إلى تحلل الغاز الذى يقاس ضغطه وبالتالي فإن الضغط المين يعتمد على تركيب الغاز .

#### ٤/٨/٥ مقياس التفريغ بالتأين بواسطة مصدر مشع :

ينشأ عن درجة الحرارة العالية التى يعطى مندها الكاثود (الفتيلة) دوماً كافياً من الإلكترونات عدد من مشاكل التشغيل بالنسبة لمقياس التفريغ ذى الفتيلة الساخنة ، ذلك أن الكاثود يتأكسد إذا وجد فى الخلية قدر ملموس من الأوكسجين . كما أن الغازات التى تكون موجودة قد تهاجم الكاثود أو تتفاعل معه تفاعلات غير مرغوبة وأيضاً فإن الغازات التى تتحلل قد تتفكك . هذه المشاكل أدت إلى وضع مصدر مشع داخل خلية الضغط تحتوى على مجمع وتقوم الجسيمات المشعة بتأين الغاز ، بنفس الطريقة التى تؤين بها الإلكترونات السريعة جزيئات الغاز فى المقياس ذى الفتيلة الساخنة السابق (بند ٣/٧/٥) .

وفى مقياس التفريغ بالتأين الناتج عن جسيمات ألفا (شكل رقم ٥١) تكون الطاقة المتاحة

الشكل رقم (٥١)



مقياس الضغط بواسطة التأين بأشعة  $\alpha$  ولا يستخدم فتيل فى هذا المقياس مما يتيح إمكانية قياس ضغوط أكبر مما يمكن قياسه بمقياس الضغط ذو الفتيل الساخن غير أن ذلك يكون على حساب حساسية الجهاز .

- (١) باعث جسيمات ألفا .
- (٢) الكاثود نصف محجب .
- (٣) مجمع .
- (٤) مضخم الدخل .
- (٥) مضخم تقارن مباشر . ض = الضغط المقيس .

من هذه الجسيمات أقل كثيراً مما يتاح بالإلكترونات في المقياس ذى الفتيل الساخن وبالتالي فإن حساسية الأخير تكون أفضل من حساسية مقياس التفريغ بالتأين بواسطة مصدر مشع لجسيمات ألفا ، غير أن مقياس التفريغ بالتأين بواسطة جسيمات ألفا لا يتلف ، فليس به قتل يتأكسد . ويمكن لهذا المقياس تتبع انخفاضات الضغط السريعة بدقة أكبر .

#### ٥/٨/٥ مقياس الضغط الكهربائي الإجهادي :

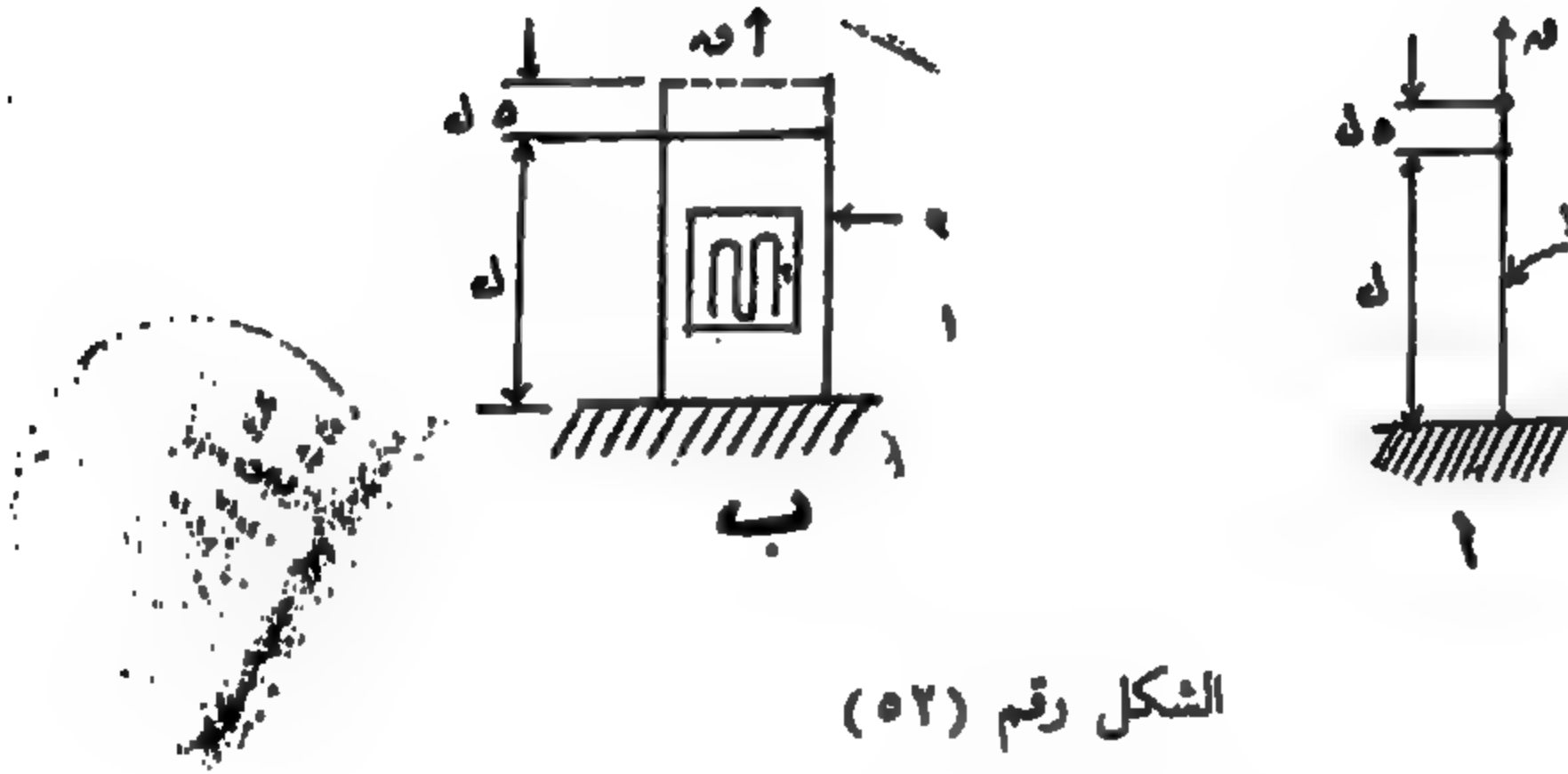
يتكون هذا المقياس أساساً من بلورة كوارتز موضوعة بين لوحين وعندما يعرض اللوحان للضغط تنشأ قوة دافعة كهربائية بينهما وتتخذ هذه القوة الدافعة الكهربائية مقياساً للضغط ، لذلك تستخدم وسائل مناسبة لقياس القوة الدافعة الكهربائية ومنها يعرف الضغط المبسط ، وهذا المقياس يناسب بصفة خاصة قياس الضغط الذى تتغير قيمته كثيراً بين لحظة وأخرى ، كما فى حالة قياس الضغط فى عمليات التفاعلات الكيميائية ، أو فى ماكينات الاحتراق الداخلى .

#### ٦/٨/٥ طريقة مقياس الانفعال بتغير المقاومة :

يعرف الانفعال بأنه تغير فى الشكل ، أو تشوه فى مادة نتيجة تسليط قوة عليها . ومقياس الانفعال هو وسيلة تستخدم تغير المقاومة لسلوك تحت الانفعال فى قياس الضغط ، ويقوم مقياس الانفعال بتغير الحركة الميكانيكية إلى إشارة كهربائية عندما يتغير طول سلك ، بالشد أو الضغط ، وبالتالي بتغير قطره ، مما يؤدي إلى تغير المقاومة ، ويتخذ تغير المقاومة مقياساً للضغط المسبب للتشوه الميكانيكى .

وتشمل وسيلة قياس الضغط الكاملة عنصراً حساساً للضغط مثل أنبوبة « بوردون » أو منفاخاً أو غشاء ومقياساً للانفعال متصلاً بهذا العنصر ، ومصدر قدرة ثابتة وأداة بيان . ويوضح الشكل رقم (٥٢) النوعين العامين من مقياس الانفعال اللذين تم

تطويرهما منذ اختراع مقياس الانفعال ويسمى أحدهما للمقياس الملتصق والآخر غير الملتصق . ويتكون مقياس الانفعال غير الملتصق من سلك حساس للانفعال ذو طرف مثبت بالعنصر المطلوب قياس انفعاله أو تمدده ، أما الطرف الثاني له فهو قابل للتحرك مع هذا العنصر ، بحيث إن القوة المطلوبة في مقياس الانفعال غير الملتصق صغيرة نسبياً فإنه أمكن صناعة عناصر حساسة صغيرة المدى والحجم تجمع في الوقت ذاته بين ميزتي الوقاية من التحميل الزائد والتخميد .



الشكل رقم (٥٢)

نوعان من مقياس الانفعال .

( أ ) مقياس الانفعال من النوع غير الملتصق .

( ب ) مقياس الانفعال من النوع الملتصق .

في النوع الملتصق يلتصق السلك بالعنصر الذي يستطيل بينما

النوع غير الملتصق يكون السلك مثبتاً من طرف واحد فقط

ويتمدد عندما يستطيل الجزء الذي يقاس انفعاله .

( ١ ) سلك الانفعال .

( ٢ ) جزء معدني .

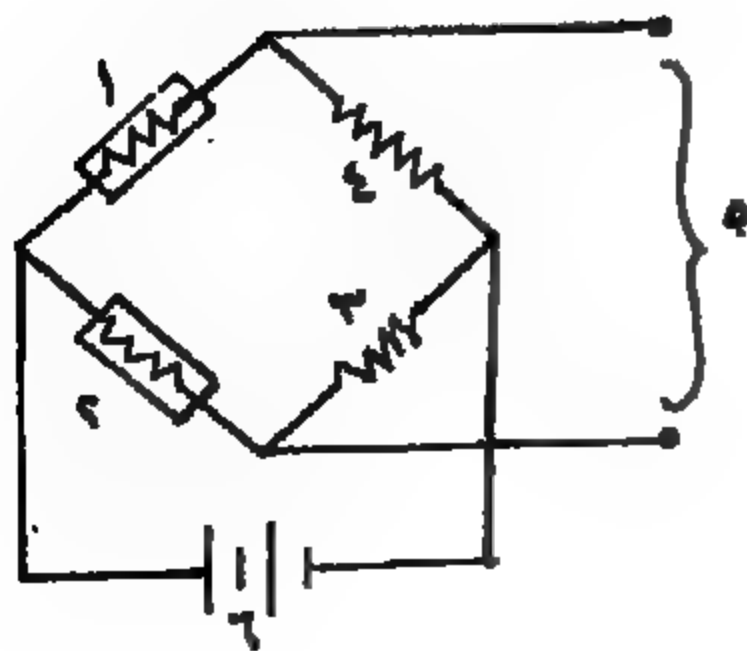
ويتكون مقياس الانفعال الملتصق من سلك أورقيقة حساسة للانفعال وملتصق بالعنصر الذي يتطلب قياس تمدده أو انفعاله وهذا النوع يناسب قياسات الشد فقط ويتم العزل الكهربائي بواسطة مادة لاصقة أو عازلة توضع على مقياس الانفعال .

والقوة اللازمة لإحداث انفعال يمكن قياسه كبيرة نسبياً . وذلك بسبب زيادة جساءتها ويعمل المقياس الملتصق تحت الشد أو الانضغاط أو الثني ، ويتم القياس بنقل الانفعال من العنصر المعدني خلال المادة اللاصقة ومادة الظهر إلى مقياس الانفعال . وتتحدد دقة القياس بخصائص كل من المادة اللاصقة ومادة الظهر لأنها تقعان في طريق القوة المسلطة وتكون المواد اللاصقة ومواد الظهر من نوع «أبوكس» .

وتستخدم الأسلاك والرقائق المعدنية والسبائك في صناعة مقاييس الانفعال القياسية . وقد أمكن منذ عدة سنوات استخدام المواد نصف المصالة (أشباه الموصلات) مثل السليكون في صنع مقاييس الانفعال ، وهي تتميز على المواد الموصلة بأن نسبة التغير في المقاومة إلى المقاومة الأصلية للعنصر تكون أكبر ، كما أمكن حديثاً استخدام الأغشية في مقياس الانفعال . ويتم إعداد هذه الأغشية بالترييب تحت تفريغ عال بأساليب فنية مماثلة لتلك المتبعة في عمل الدوائر الكهربائية للتلفزيون وغيرها .

وأياً كان نوع مقاييس الانفعال المستخدم فإنها تستعمل المقبد من طريق إدخالها في قنطرة هويتستون كما بالشكل رقم (٥٣) . عندما يسقط الضغط المطلوب قياسه فإن

الشكل رقم (٥٣) .



مقياس إنفعال مستخدم في دائرة قنطرة هويتستون .

(١) مقياس الانفعال .

(٢) معوض درجة الحرارة .

(٤،٣) مقاوماته .

(٥) الخرج .

(٦) مصدر قدرة .

مقاومة مقياس الانفعال تتغير نتيجة تغير شكل العنصر الحساس به سواء كان سلكاً أو رقيقة أو غشاء ، وبالتالي يتغير جهد الخروج من القنطرة غير أن هذا الجهد لا يمكن قياسه بواسطة فلطمتر عادي ، لهذا يتم تكبير الجهد حتى يحرك مؤشر الجهاز المستقبل له . وعند استخدام مقاييس الانفعال فإنه يكون ضرورياً . في معظم الأحوال ، تعويض التغير في درجة الحرارة لأن مقياس الانفعال والمادة اللاصقة يتمددان أو ينكمشان مع تغير درجة الحرارة ويتم التعويض بواسطة مقاومات تعويض تدخل في دائرة قنطرة هويتسون المستخدمة في القياس . وفي العادة تتراوح مقاومة دائرة محول الانفعال ، باستثناء النوع ذي الغشاء ، ما بين ١٠٠ ، ٥٠٠ أوم . وتستخدم قدرة مترددة أو مستمرة ويكون جهد الخرج حوالي ١-٣ ملي فولت لكل فولت من الدخل . وتتراوح دقة مقاييس الانفعال بصفة عامة بين  $\pm 0.1\%$  إلى  $\pm 2\%$  من التدرج الكامل وتعتمد الدقة على المواد المستخدمة والتصميم ، وتتراوح مدى القياس لها بين حوالي ١ كيلو بسكال إلى ١٤٠٠٠٠ كيلو بسكال (١ كيلو بسكال - ٦.٨٩٤٨ باوند قوة لكل بوصة مربعة)

#### ٩/٥ ملاحظات خاصة بتركيب واستعمال أجهزة قياس الضغط :

١ - يوصى باستعمال أنابيب وملحقات ضغط نحاسية ، قابلة للانثناء في معظم التركيبات وبصفة خاصة للضغوط المنخفضة والتفريغ العالي عندما لا يمكن تحمل حدوث أي تسرب في خطوط أو توصيلات مقياس الضغط ، ويجب أن يكون خطوط الضغط مناسبة لتحمل الضغط المقاس وكذلك الصدا الناتج عن مادة الوسط الذي يقاس ضغطه .

٢ - تتأثر سرعة استجابة مقاييس الضغط بمقاس أنابيب القياس من الداخل وكذلك أطوالها ، لذا يجب دراسة مقاسات الأنابيب والأطوال المناسبة لكل تطبيق على حدة وبصفة خاصة في التطبيقات التي تستخدم فيها أجهزة للتحكم في الضغط . أو



مقاييس للتفريغ والضغط المنخفضة حتى يتم تجنب الاستجابة الخطيئة .  
 ٣ - يوصى بتركيب محبس شكل T في خط الأنابيب قريباً من مقياس الضغط لأنه يسمح بنزع المقياس لاختباره أو استبداله بآخر دون حاجة لإيقاف العملية الصناعية التي يقاس الضغط بها .

٤ - ينتج عن مرور الضغوط النابضة في خطوط المقياس أن تعطى الحركة الثابتة المرشحة أو المؤشر إشارة غير مقروءة ، وقد ينسكب الحبر إذا كانت النبضات عنيفة وربما يتلف العنصر الحساس للضغط قبل الأوان .

ويمكن تخميد النبضات أو تقليلها بإدخال اختناقات (أى مقاومات) ، وزيادة سعة خط الأنابيب ، وأبسط أنواع وسائل تخميد النبضات عبارة عن صمام إبرى يتم تركيبه في خط أنابيب المقياس على بعد حوالى متر من المقياس . ويجب مراعاة إغلاق هذا الصمام الإبرى ببطء حتى يبين المؤشر أو الريشة ضغطاً ثابتاً ويستجيب في الوقت ذاته لأية تغيرات ملموسة في الضغط . وإذا لم تكن سعة الخط كافية فيمكن أيضاً تركيب خزان (عبارة عن أنبوبة ذات قطر أكبر مزود بغطاءين) كما هو موضح بالشكل رقم (٥٤) .  
 وتجب مراعاة أن إدخال صمامات إبرية في الخط لا يكون حسبما اتفق ، ولكن باحتياطات خاصة لضمان أن القراءات التي يعطيها الجهاز هي فعلاً القيم الصحيحة للضغط المقيس :

٥ - إذا كانت المادة التي يقاس ضغطها مسببة للصدأ فإنه يجب عزلها عن المقياس إلا إذا كان مصنوعاً من مواد لا تصدأ ، ويمكن عزل مادة الوسط عن المقياس بإحدى الطرق التالية :

#### (١) مانعات التسرب السائلة :

يملاً مقياس الضغط وخط الأنابيب الموصل به بوسائل خامل يظل في مكانه ، يمنع من الاختلاط بالوسط المسبب للصدأ باستخدام مانع للتسرب ، ويختار السائل المانع



للتسرب مع الأخذ في الاعتبار أن يكون مقاوماً للاندماج الكيميائي مع وسط الضغط وكذلك مقاوماً للاندماج الفيزيائي معه فلا يذوب فيه أو يحدث إغام بينهما وأن يكون الوزن النوعي مناسباً بحيث يبقى منفصلاً عن وسط الضغط في درجات الحرارة المختلفة كما تكون خصائصه الفيزيائية الأخرى مثل اللزوجة وضغط بخاره ونقطة تجمده مناسبة . ويجوز أن يكون السائل المانع للتسرب أخف أو أثقل من وسط الضغط .



شكل رقم (٥٤)

خزان يستخدم لزيادة سعة خط الأنابيب

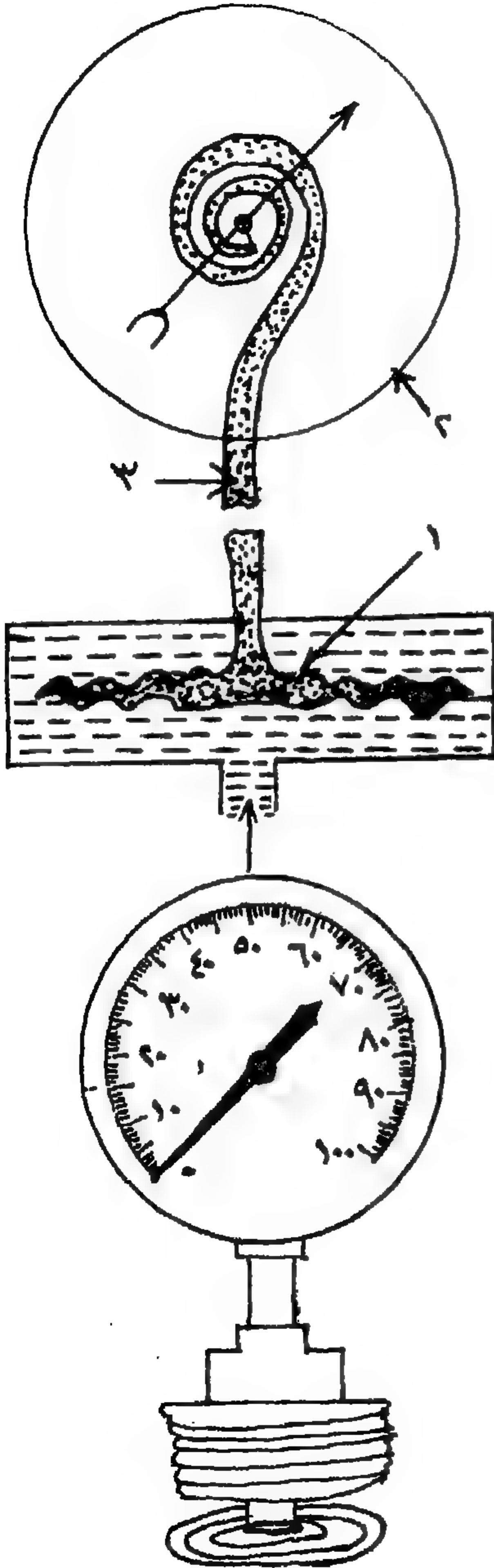
ويشمل الجدول رقم (٧) بعض أوساط الضغط والسوائل المانعة للتسرب المقترحة لكل منها :

## الجدول رقم (٧)

وسط الضغط	مانعات التسرب المناسبة
حمض خليك (حتى ٥٠٪)	كبروسين ، زئبق (تفاعل بطيء جدًا)
أسيتون	محلول ٤٪ كلوريد الكالسيوم
أمونيا	زئبق ، زيت معدني نقي خفيف
بنزول	محلول كلوريد الكالسيوم (٤٠٪)
زيت وقود	محلول كلوريد الكالسيوم (٥٠٪) جلسرين وماء
صودا كاوية	كبروسين ، زيت معدني نقي
غاز كلور	غشاء مانع للتسرب - فضة أو تتاليوم ، نظام تظهير
حمض هيدروكلوريك	غشاء فضة ، بيروكلورثيلين كمفردة في غشاء مزدوج
حمض لاكتيك	كبروسين
حمض فسفوريك	زيت معدني بالنسبة للمحاليل
	المخففة من الحمض
حمض كبريتيك	زيت معدني نقي

(ب) مانع التسرب الكبسولي :

يمكن تزويد المقياس بمجموعة مانعة للتسرب تحتوي على غشاء حامل يبقى السائل في المقياس ويمنع وسط الضغط من ملامسته وتوضح الأشكال أرقام ٥٥، ٥٦، ٥٧.



الشكل رقم (٥٥)

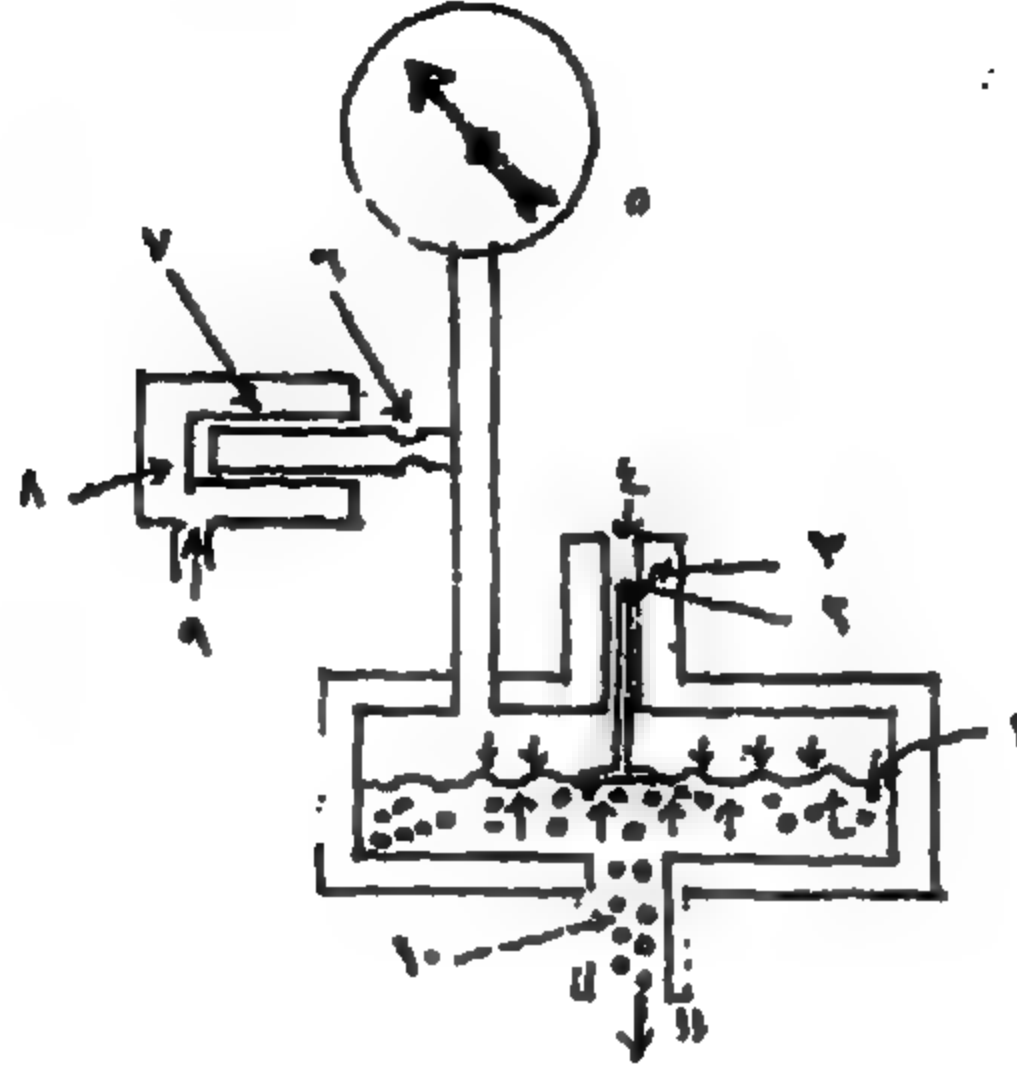
- مانع تسرب كبسولي .  
 (١) كبسولة .  
 (٢) جهاز القياس .  
 (٣) أنبوبة شعرية .  
 من : الضغط المقيس .

الشكل رقم (٥٦)

- مانع تسرب يحصر (يحد) السائل  
 داخل العنصر الحساس للجهاز .

ثلاثة أنواع مختلفة من مانعات التسرب موازنات القوى إحداها بنيوماني (شكل

(٥٧)



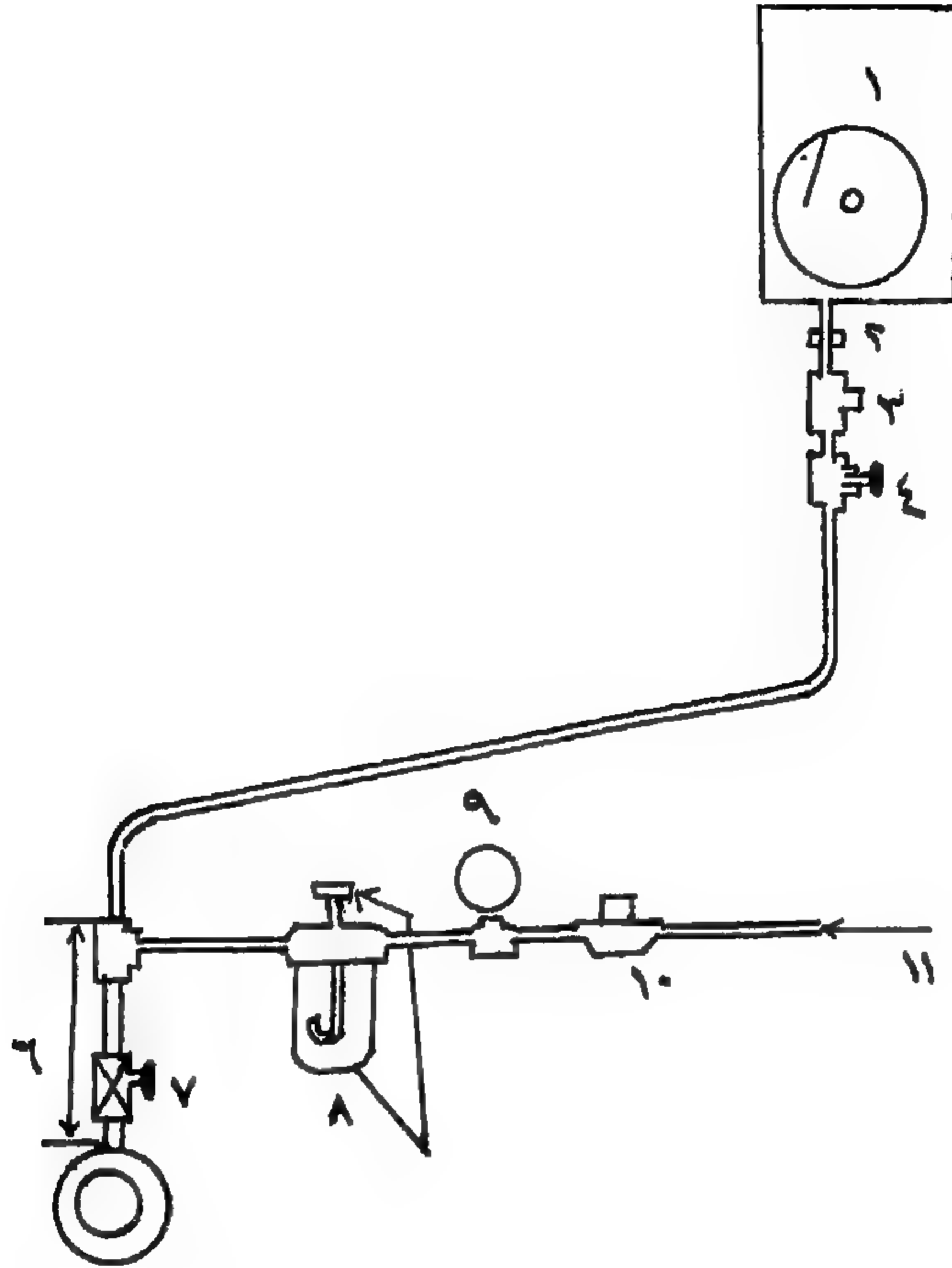
الشكل رقم (٥٧)

- |                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| (٦) فتحة .                    | مانع تسرب بنيوماني . |
| (٧) مرشح .                    | (١) كبسولة .         |
| (٨) هواء .                    | (٢) كرة الصمام .     |
| (٩) مدخل الهواء .             | (٣) فتحة الصمام .    |
| (١٠) المائع الذي يقاس ضغطه .  | (٤) الضغط الجوي .    |
| (١١) توصله إلى الضغط المقيس . | (٥) مقياس الضغط .    |

والآخرا ن هيدروليكيان . ويراعى تنظيف مانع التسرب من وقت لآخر أثناء الاستخدام حتى لا ترسب طبقة من المواد المستخدمة فتقلل الضغط المؤثر على مانع التسرب .

#### (جـ) نظم التطهير :

يمكن إخراج المواد الجامدة أو اللزجة أو الندفة (الزغبة) من مقياس الضغط ومن خط الأنابيب بواسطة نظام تطهير يعمل بسائل أو غاز الشكل رقم (٥٨) . ولكن يجب التأكد مما يلي :



الشكل رقم (٥٨) نظام تطهير بالماء أو الهواء .

يمكن استخدامه لاختراق وسط الضغط الأكال أو الذي يتجمد أو يحتوي على مواد جامدة .

- |  |   |
|--|---|
| (١) مقياس الضغط .  | (٨) صمام إبري وإثناء فقاعات بضبط لإعطاء ٦٠ فقاعة كل دقيقة عند أقصى ضغط في الوعاء الذي يقاس ضغطه . |
| (٢) وصلة رباط .  | (٩) مقياس ضغط مداه ٢٠٠٪ على الأقل من أقصى ضغط مطلوب قياسه .                                       |
| (٣) وصلة (T) وصمام .   | (١٠) صمام تخفيض بضبط على ٢٠٠٪ أو أكثر من أقصى ضغط مطلوب قياسه .                                   |
| (٤) محبس المقياس .   |   |
| (٥) خط أنابيب المقياس ويكون مائلاً .                               |   |
| (٦) البعد الموضح يكون أصغر ما يمكن .                               |   |
| (٧) صمام إغلاق بوابي من مادة مضادة للتآكل . أقصى ضغط مطلوب قياسه . |   |

- إن مائع التطهير لا يتحد بدرجة غير مناسبة فيزيائياً أو كيميائياً مع وسط الضغط ، وأنه أيضاً لا يخفف وسط الضغط بالقدر غير المناسب ، ويجب أن يكون بإمكان نظام التطهير إخراج الغاز أو الهواء المستخدم كمائع تطهير إلى الجو وإلا فإن العملية سوف تمتلئ بالهواء أو الغاز.

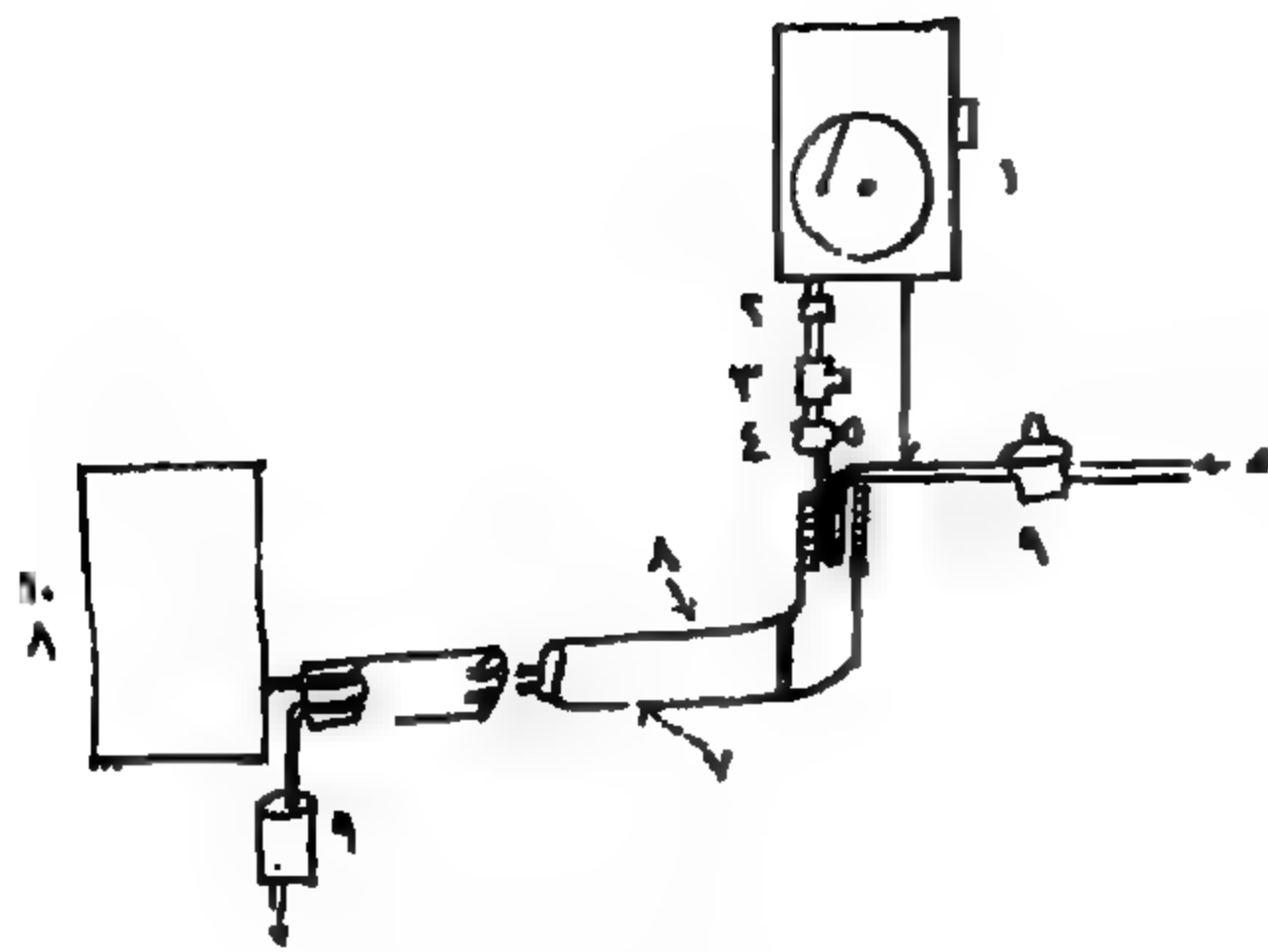
وأكثر الموانع استخداماً الهواء والماء . وبصفة عامة يستخدم الماء فقط عندما يكون وسط الضغط محلولاً يتدفق بكمية كبيرة لدرجة أن ماء التطهير لا يخففه إلا بقدر طفيف يمكن إهماله ، والتطبيقات الصناعية التي يجرى فيها ذلك كثيرة كما في صناعة الورق .  
٥ - يمكن توصيل مقاييس الضغط وخطوطه ووصلات العلب المحتوية على أجزاء من الصلب الكربوني مباشرة بالأمونيا دون استعمال مانعات التسرب وذلك لأن الصلب لا يصدأ بغاز أو سائل الأمونيا .

#### ٦ - الإلغام بالزئبق :

حيث إن الزئبق يلغم النحاس بنوعيه الأصفر والأحمر ولحام الفضة وغيرها . وهذا الإلغام يؤدي إلى تلف الأجزاء المحتوية على هذه المعادن ، لذلك يجب العناية بمنع دخول الزئبق أو بخاره دون قصد في أى جزء من أجزاء المقياس إلا إذا كانت مصنوعة من مواد حديدية مجمعة باللحام كلياً . ويجب ملاحظة أنه في ظل ظروف كثيرة فإن الهواء المحبوس في العنصر الحساس لمقياس الضغط يمنع أى سائل أو بخار من دخول المقياس .

#### ٧ - الموائع اللزجة أو المتجمدة :

يجب استبعاد الموائع ، التي يتغلظ قوامها أو تتجمد عند تركها ساكنة أو عند تبريدها ، من مقاييس الضغط وخطوطه . وإذا استدعى الأمر استعمالها في مقاييس الضغط فإنه يجب المحافظة على إبقائها في حالة سيولة دائمة عن طريق تسخين خطوط الأنابيب الواصلة للمقياس بواسطة سلك تسخين أو بإمرار بخار ماء ساخن حولها (الشكل رقم ٥٩) .



الشكل رقم (٥٩)

استخدام التسخين (بالبخار) لمنع تجمد وسط الضغط

(١) مقياس الضغط .

(٢) وصلة ربط .

(٣) وصلة على شكل T ، صمام .

(٤) محبس .

(٥) بخار أو ماء ساخن .

(٦) صمام تخفيض .

(٧) خط الأنابيب مائل في هذه المنطقة .

(٨) أنبوبة تغطي خط الأنابيب وأنبوبة التسخين .

(٩) مصيدة بخار .

(١٠) وعاء .

#### ٨ - درجات حرارة محيطية منخفضة حتى التجمد :

عندما يتطلب قياس ضغط سائل قابل للتجمد أو غاز خامل به قدر من الرطوبة قابل للتكثف ، في أماكن باردة أو في الخلاء حيث تنخفض درجة الحرارة حتى التجمد فإنه يكون من الضروري وقاية المقاييس والأنابيب من التجمد .

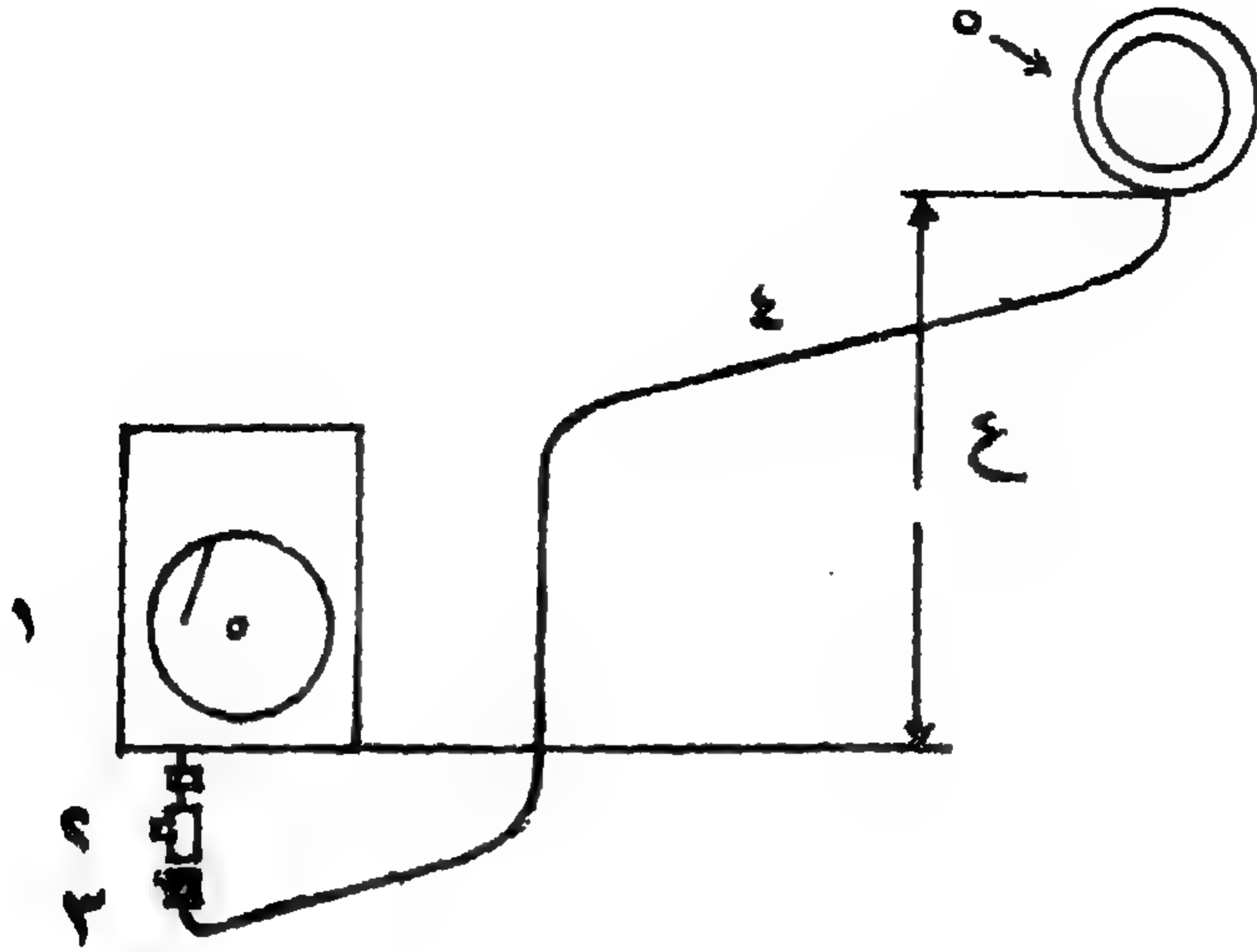
#### ٩ - وقاية المقياس من التحميل الزائد :

يراعى عدم استخدام الجهاز لقياس ضغوط تزيد على مداه إلا إذا كان مزوداً بما يقيه من التلف . وحتى لو استخدم الجهاز في قياس ضغوط تزيد على مداه وكان مزوداً بما يقيه فإنه قد يحدث للعنصر الحساس أو إحدى الوصلات تشوه دائم وفي هذه الحالة يحتاج الجهاز إلى إعادة المعايرة .

#### ١٠ - قياس ضغط غاز وهواء وسائل :

عند تركيب خطوط أنابيب مقياس الضغط لقياس ضغط هواء وغاز يجب اتخاذ إجراءات التصريف والتنفيس لأي متكثف (انظر الشكل رقم ٦٠) ولاحظ كيفية توصيل خطوط المقياس بالخط الرئيسي أو الخزان .





الشكل رقم (٦٠)

تركيب مقياس الضغط عند وضعه أسفل المنبع .

(١) مقياس الضغط .

(٢) وصلة شكل T وصمام .

(٣) محبس .

(٤) خط المقياس مائل لتنقيس الغازات .

(٥) المنبع .

ملاحظة : يراعى دائماً توصيل الخط بأدنى نقطة بالمنبع أو

الخزان وذلك حتى تظل الخط مملوءاً بالكثف .

## ١١ - قياس ضغط غازات ساخنة (أو بخار ماء) قابلة للتكثف :

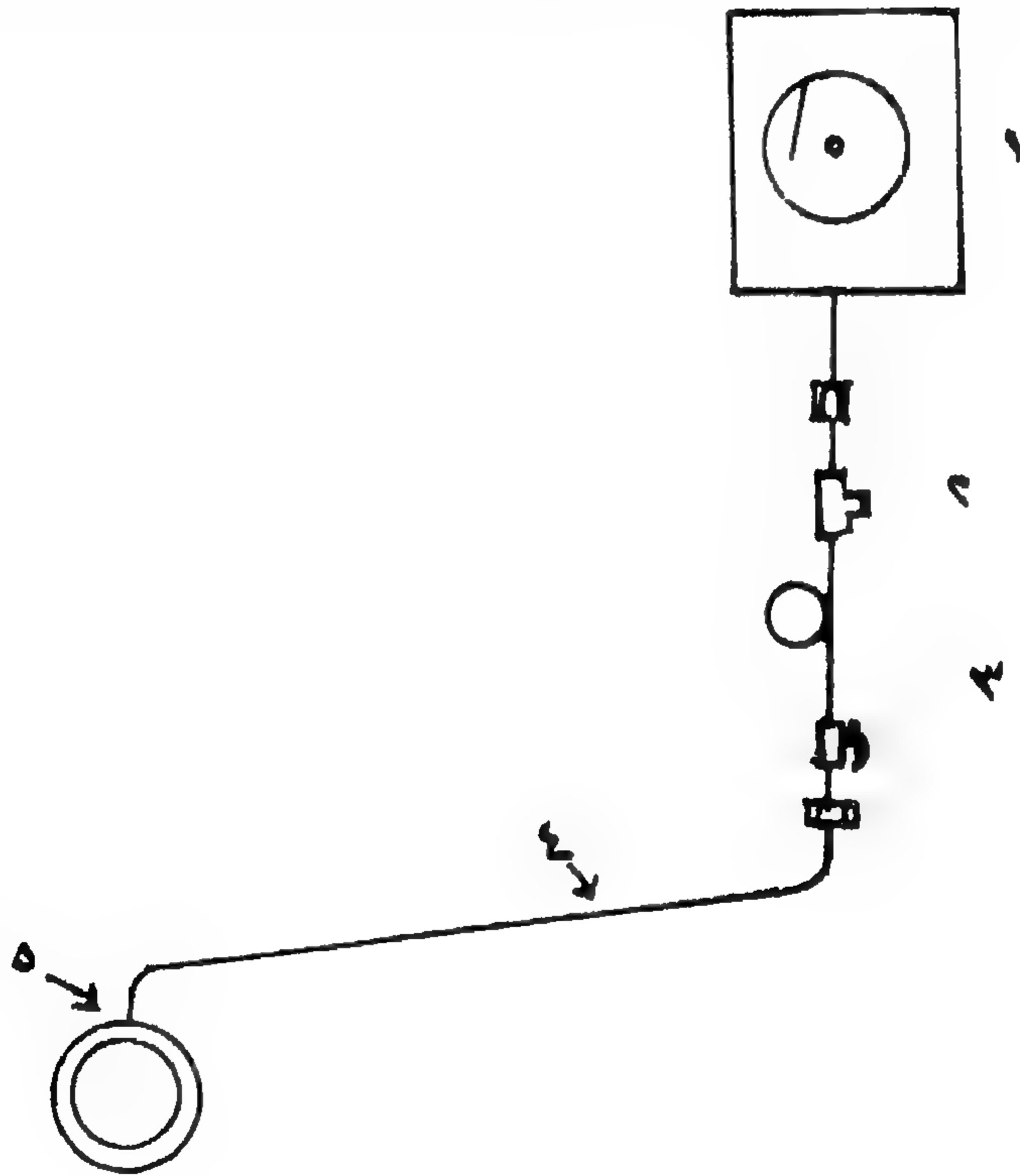
يجب بصفة عامة ألا تزيد درجة حرارة الموائع الداخلة إلى مقاييس الضغط على

٦٥°م .

١ - المقياس في مستوى أسفل من مستوى التوصيلة : يجب في هذه الحالة ملاحظة أن خط الضغط الموصل إلى المقياس سوف يمتلئ ببخار ماء متكثف ، ومعنى ذلك أن

بيان المقياس عبارة عن مجموع ضغط البخار ، وعمود ماء إرتفاعه مساو لارتفاع التوصيلة عن المقياس ، ولهذا يجب عمل تصحيح لقراءة المقياس يساوى عمود الماء المشار إليه . ويفضل ملء الخطوط بالماء لضمان عدم حدوث تسخين زائد قبل تكون القدر الكافى من بخار الماء المتكثف .

وإذا كان المقياس فى مستوى أعلى من مستوى التوصيلة الشكل رقم (٦١) عند



الشكل رقم (٦١)

- |   |   |
|---|---|
| تركيب المقياس عند وضعه أعلى من المنبع . | (٣) محبس برافعة ما خلفه .                         |
| (١) مقياس ضغط .                         | (٤) خط المقياس مائل لتصريف المنكثف ناحية المنبع . |
| (٢) وصلة شكل T وصمام .                  | (٥) منبع .  |

تركيب مقياس الضغط أعلى من خط البخار فيجب تركيب مانع للتسرب على شكل ملف أنبوى فى الخط ويجب صب ماء كاف عن طريق صمام الملء بحيث يمتلئ الملف قبل السماح للبخار بالمرور إلى الأنابيب ويراعى أن يكون قطر الأنابيب مناسباً (أكبر من ١٣ مم) ويراعى أيضاً تجنب وجود نقط منخفضة فى الخط بالدرجة التى قد تشكل معها مصيدة لبخار متكثف فتخلق خطأ فى عمود الماء المأخوذ فى الاعتبار عند تصحيح القراءات .

١٢ - يجب تركيب محبس ذى اتجاهين على خط الأنابيب قبل المقياس مباشرة وهذا يجعل من الممكن إخراج المقياس لإستبداله أو اختباره دون حاجة لإغلاق المجموعة .

١٣ - إذا كان مقياس الضغط يحتوى على أجزاء كهربائية ، وكان القياس يجرى فى وسط قد توجد به غازات قابلة للتفجر فى أى وقت ، فإنه يجب تطهير المقياس من الهواء . ويتم ذلك بإدخال تيار مستمر من الهواء النظيف بحيث يكون الضغط داخل علبة المقياس أكبر قليلاً من الضغط المحيط ، وهذا يمنع دخول العناصر المؤكسدة أو المتفجرة .

#### ١٤ - مقاييس الضغط والتفريغ :

يجب عدم السماح لوسيط الضغط المسبب للصدأ أو الذى يتجمد ، بالدخول فى خط أنابيب المقياس أو فى المقياس ذاته عند إزالة التفريغ والتأثير بالضغط .

#### ١٠/٥ معايرة أجهزة قياس الضغط :

تعاير أجهزة قياس الضغط بالمقارنة مع مانومتر سائلى دقيق أو بواسطة جهاز اختبار الضغط ذى الحمل المباشر ، ويستخدم المانومتر السائلى بصفة خاصة للضغوط المنخفضة . أما جهاز اختبار الضغط ذو الحمل المباشر فهو يستخدم فى معايرة أجهزة القياس ذات المدى الأعلى مما يمكن معايرته بواسطة المانومتر السائلى .

## الباب السادس

### قياس تدفق الغازات والسوائل

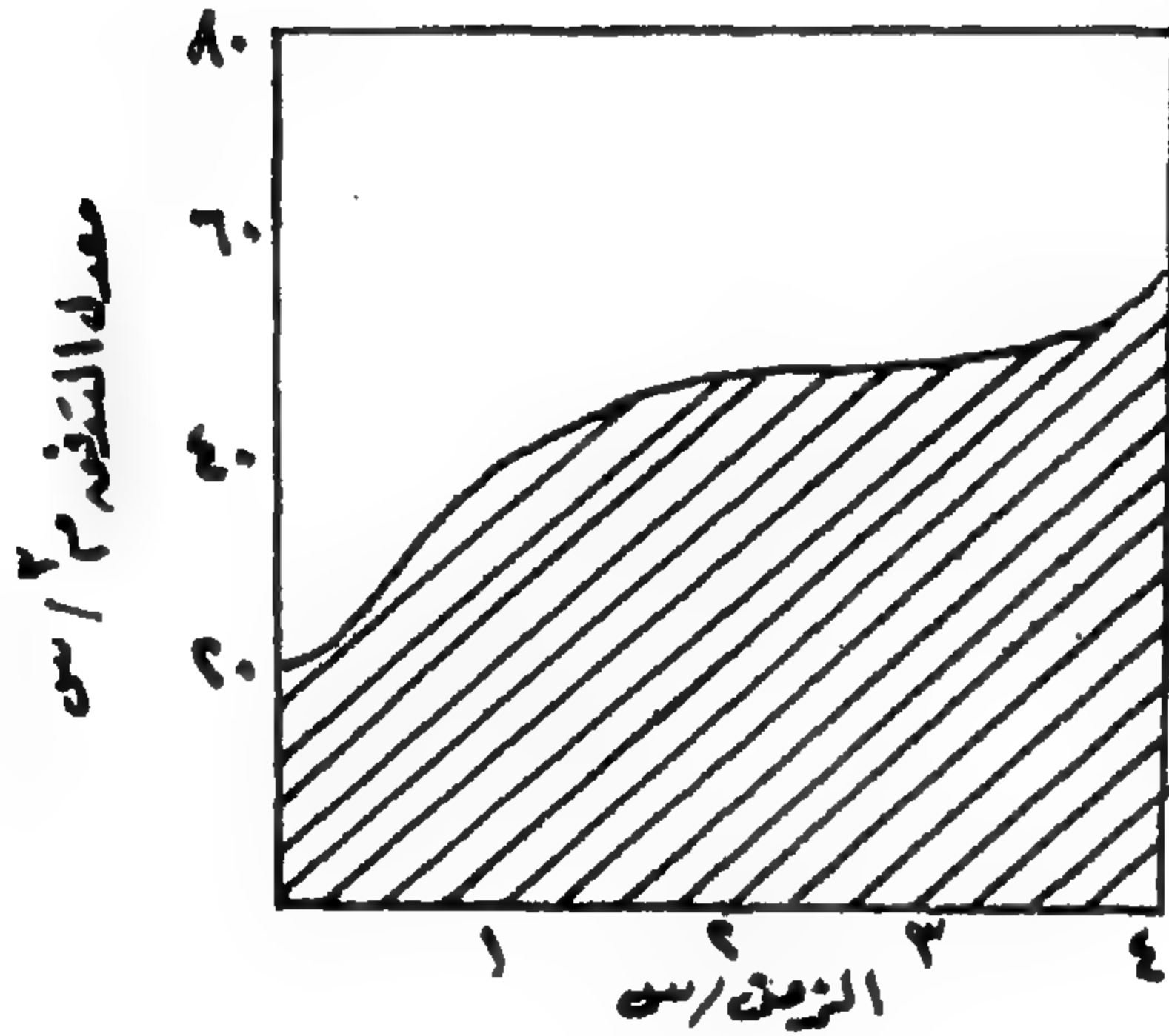
تمثل قياسات تدفق الغازات والسوائل نسبة مئوية كبيرة من القياسات التي تجري في الصناعات الكيميائية ، بل ربما أمكننا أن نقول إنها أكثر أنواع القياسات أهمية في مجال الصناعات الكيميائية ، فلولا قياسات التدفق لكان خلط المواد بالنسبة المحددة لها وضبط الجودة والإنتاج المستمر . . . إلخ من الأمور المستحيلة تقريباً .

وتوجد طرق كثيرة دقيقة يمكن الاعتماد عليها في قياس التدفق ، ومنها ما يناسب السوائل فقط ومنها أيضاً ما يناسب الأبخرة والغازات ، وبعض الطرق تناسب السوائل والغازات والأبخرة . والسوائل التي يتم قياس تدفقها قد تكون راتقة أو معتمة ، نظيفة أو قذرة ، رطبة أو جافة ، مؤكسدة أو غير مؤكسدة . والتدفق قد يكون مضطرباً به دوامات أو هادئاً ينساب في طبقات ، والمائع تتفاوت لزوجته وضغطه ودرجة حرارته . وثمة متغير آخر هو معدل التدفق الذي قد يتراوح بين بضع قطرات في الدقيقة الواحدة إلى آلاف اللترات في الدقيقة .

وقد أدى هذا التنوع الكبير في خواص الموائع وتدفقها ومعدلاتها إلى استنباط طرق وأجهزة قياس كثيرة كل منها تناسب حالة أو حالات بعينها ، ويمكن تقسيم أجهزة القياس إلى قسمين رئيسيين هما :

— عدادات الحجم أو الكتلة وهي العدادات التي تعطى الكمية الكلية التي تتدفق في زمن معين ويمكن الحصول على متوسط معدل التدفق بقسمة الكمية الناتجة على الزمن الذي تدفقت فيه .

- عدادات معدل التدفق وهى تعطى معدل التدفق الفعلى ويمكن الحصول على الكمية الكلية المتدفقة بتجميع أوتكامل الكميات المتدفقة فى فترات زمنية صغيرة . ويمكن الحصول على الكمية الكلية للتدفق عن طريق المنحنى الناتج من رسم قيم معدلات التدفق مع الزمن وتحسب المساحة الواقعة تحت المنحنى الناتج كما فى الشكل رقم (٦٢) .



الشكل رقم (٦٢)

#### ١/٦ عدادات الحجم والكتلة :

كما يتضح من تسمية هذه العدادات فإنها تشمل نوعين من العدادات أحدهما للكتلة والثانى للحجم ويتم الحصول على الكتلة فى النوع الأول بالوزن وفى النوع الثانى تعطى العدادات حجم المائع المتدفق ، وتصنف طبقاً للمائع إلى عدادات حجوم السوائل مثل

الخزان البسيط أوعدادات الإزاحة ، وعدادات حجوم الغازات مثل عداد الغاز ذى المنفاخ والعداد ذى الدفاعة الدوارة

### ٦ / ١ / ١ عداد الكتلة :

يتم تشغيل هذه العدادات بواسطة وزن السائل ، ويوجد نوع من هذه العدادات يكون فيه الوعاء معداً بحيث إنه إذا بلغ السائل الذى يحتويه ارتفاعاً محدداً من قبل فإنه ( أى الوعاء ) ينقلب ويفرغ ما به . وأيضاً فإن هذا الإناء ينقلب عندما يصل مركز الثقل ارتفاعاً معيناً محدداً سلفاً فإن معايرته تعتمد على كثافة المائع المقيس وبالتالى فإنها تتأثر بتغير درجة الحرارة لأنها تؤثر على كثافة كل من الوعاء والسائل . غير أن هذا التأثير يكون صغيراً بصفة عامة ، ويسجل عدد مرات انقلاب الوعاء بعداد ويكون ذلك مقياساً للوزن الكلى الذى تدفق .

ويوجد نوع آخر من العدادات يتم فيه تعليق الوعاء فى عاتق ميزان ذى ثقل موازنة .

### ٦ / ١ / ٢ عدادات حجوم السوائل :

#### ٦ / ١ / ٢ / ١ العداد ذو الخزان :

يتكون العداد فى أبسط صورة من خزان واحد يملأ ثم يفرغ تبادلياً ويسمح للخزان بالامتلاء حتى يصل السائل إلى قمة سيفون حيث يتدفق . ويسجل عدد مرات التفريغ بواسطة آلية مشغلة بعوامة .

وعندما يستخدم خزانان يملأ أحدهما حتى إذا وصل مستوى السائل فيه إلى قيمة محددة سلفاً فإن الآلية المشغلة بواسطة عوامة تقوم بمنع التدفق إلى هذا الخزان وتوجهها إلى الخزان الثانى ، وفى نفس الوقت يفتح صمام فى أسفل الخزان الأول فيسمح للسائل بالتدفق إلى خارجه . . وهكذا يمتلئ أحد الخزائين بينما يفرغ الآخر وتسجل آلية تعمل بعوامة عدد مرات الملء ويكون ذلك مقياساً للتدفق .

## ٦ / ١ / ٢ / ٢ عدادات الإزاحة الموجبة :

تستخدم عدادات الإزاحة كثيراً في التطبيقات التي لها دقة عالية وتكرارية جيدة ، ولا تعتمد دقتها على أية نبضات تحدث في تدفقه ، كما أنه يوفر إمكانية القياس بدقة للسوائل العالية اللزوجة وبدرجة أفضل مما تتيحه عدادات التدفق الأخرى ، لذلك فإن هذه العدادات تستخدم كثيراً كأساس لحساب قيم كميات البترول أو الماء . كما تستخدم في العمليات الصناعية التي تشمل إدخال كميات معينة بعدها يقطع التدفق تلقائياً . ومبدأ القياس في عداد الإزاحة هو أن السائل عند تدفقه عبر العداد فإنه يحرك عنصر القياس الذي يغلق حجرة القياس ويقسمها إلى مجموعة من حجيرات القياس التي تحوى كل منها حجماً محدداً ، ويتحرك عنصر القياس فإن حجيرات القياس تمتلئ ثم تفرغ الواحدة تلو الأخرى ، ومع كل دورة كاملة لعنصر القياس يسمح لقدر معين من السائل بالمرور من مدخل العداد إلى مخرجه . ويتكون مانع التسرب بين عنصر القياس وحجرة القياس من غشاء من السائل المقيس ذاته . ويوجد بالعداد مؤشر يتحرك على قرص مدرج أو وسيلة بيان أخرى تبين عدد دورات عنصر القياس ، ويستمد المؤشر الطاقة اللازمة له من حركة عنصر القياس عن طريق مجموعة مسننات (تروس) منضبطة . ويتم ضبط نسبة تعشيق المسننات أثناء المعايرة بحيث يصير الفرق بين الكمية الحقيقية وتلك المبينة بواسطة العداد أقل ما يمكن على كامل السعة المقننة للعداد . وينتج الفرق بين الكمية الحقيقية والمبينة عن التسرب خلال الخلوص الميكانيكي للأجزاء المتحركة ويعتمد هذا التسرب على عوامل كثيرة منها حجم الخلوص بين عنصر القياس وحجرة القياس ، ويمكن تقليل التسرب الناتج عن هذا الخلوص بتضييق تفاوتات التصنيع ، وأيضاً فإن التغيرات في درجة الحرارة تزيد حجم الخلوص بين عنصر القياس وحجرة القياس بالإضافة إلى تغيير مقاس حجيرات القياس ، ويمكن تقليل تأثير تغيرات درجة الحرارة بحيث يمكن إهمالها بالتصميم الجيد للعداد . وبالإضافة إلى ما سبق من عوامل مسئولة عن التسرب فإن زيادة لزوجة السائل المقيس تؤدي إلى زيادة الفقد في الضغط



عبر عنصر القياس ، غير أن هذا يعوض وزيادة بواسطة خفض في التدفق من الخلوصل عند انخفاض معين للضغط .

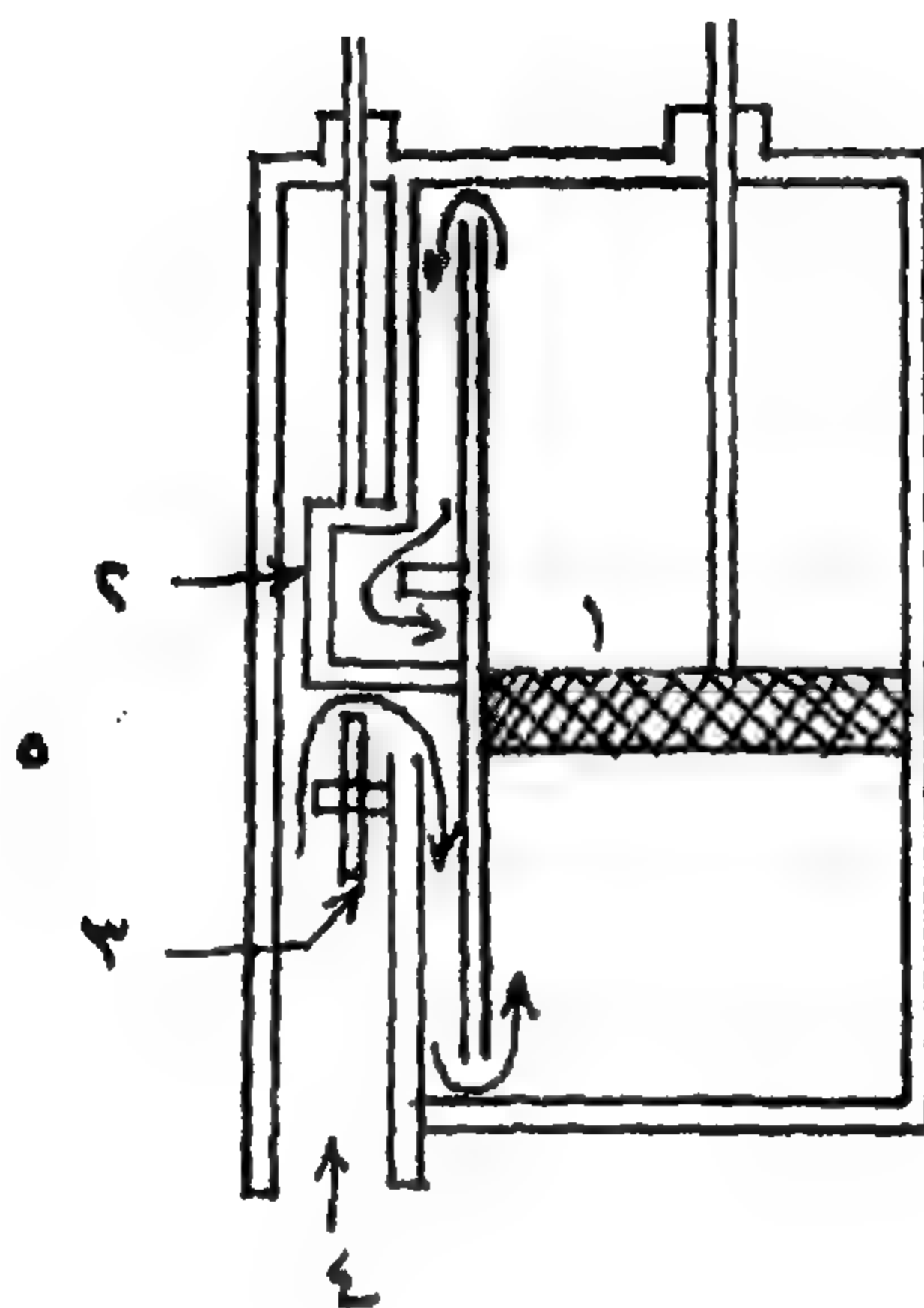
ويجدر بنا أن نلاحظ أن الأخطاء الرئيسية في عدادات الإزاحة الموجبة تنتج عن فروق في درجة الحرارة والكثافة واللزوجة للسائل في ظرف التشغيل عن القيم المناظرة لها عند المعايرة ، لذلك فإنه من الممارسات العملية أن يتم معايرة العدادات في مواقع استخدامها بواسطة معايير العدادات . وقد يكون المعايير عبارة عن خزان بسيط سبق معايرته بالمقارنة مع مقياس أمامي دقته حوالي  $\pm 0.04\%$  ، وحجم هذا الخزان يمكن تحديده بدقة  $\pm 0.1\%$  . ويوجد نوع آخر من معايرات العدادات عبارة عن أنبوبة معايرة ذات طول محدد ومقطع منتظم متجانس مركب عليها كشافان بينهما مسافة معينة . ويوجد مكبس على شكل كرة متوافقة بإحكام مع الأنبوبة يتم دفعها بالسائل المتدفق من الكشاف إلى الآخر وهي في أثناء ذلك تزيح حجماً معيناً ومعلوماً من السائل ، وقد وضع المكشافان بحيث تكون المسافة بينهما كافية لتعطي الدقة المطلوبة وبعض صانعي هذه المعايرات يدعى لها دقة  $\pm 0.02\%$  .

وبطبيعة الحال فإن دقة العداد لا يمكن أن تكون أفضل من دقة المعايرة ، غير أنه عندما تستخدم معدات معايرات دقيقة فإنه يمكن معايرة العداد بالسائل الحقيقي وبنفس معدل التدفق الذي ستجرى به القياسات بعد ذلك ويجرى الضبط اللازم للمحافظة على دقة القياس .

وقد أثبتت الخبرة المكتسبة في مجال صناعة البترول أن القياس بواسطة عداد من تصميم جيد وتم معايرته وصيانتته من آن لآخر يكون أدق بكثير من قياس الكمية بواسطة طريقة قياس المستوى في خزانات معايرة .

وتتفاوت دقة القياس بعداد الإزاحة من تصميم إلى آخر وتبعاً لظروف وطبيعة السائل المقيس ومعدل تدفقه . ويجب بذل مزيد من العناية في اختيار العداد المناسب لنوع القياس المطلوب . وتشمل عدادات الإزاحة أنواعاً كثيرة ، وفيما يلي أكثرها شيوعاً :

المكبس الترددي - المكبس المتذبذب (المكبس الدوار) - القرص المترنح - الدوار  
الحلزوني المخدد - الريشة المنزلقة - الريشة المترددة - المستنات البيضاوية . ويبين الشكل  
رقم (٦٣) العداد ذا المكبس الترددي .



الشكل رقم (٦٣)

عداد التدفق ذو المكبس الترددي .

- (١) مكبس .
- (٢) صمام تزلق .
- (٣) دليل .
- (٤) تدخل المانع .
- (٥) مخرج المائع .

وهذا العداد يشبه كثيراً ، من حيث التركيب ، المكبس والإسطوانة في ماكينة البخار ، فيدخل المائع المطلوب قياس ضغطه الجانب السفلى مثلاً لجسم العداد فيحرك المكبس إلى أعلى ، وينصرف الماء الموجود أعلاه من خلال ماسورة المخرج . وعندما يصل المكبس إلى أقصى وضع في مشواره تفصل قمة الأسطوانة عن جانب المخرج وتفتح لدخول الماء . وفي نفس الوقت يفتح قاع الأسطوانة إلى جانب المخرج ولكنه يكون مقطوعاً عن ماء المدخل . ويؤدي ضغط الماء الداخل إلى تحريك المكبس إلى أسفل حيث ينصرف الماء من أسفله إلى أنبوبة التصريف . وعندما يصل المكبس إلى أدنى وضع في مشواره فإن الصمام يعمل مرة ثانية وتكرر الدورة . وتقوم الذراع الخارجية التي تسبب حركة الصمام المتزلق في الوقت ذاته بإدارة عداد يعطى مجموع كمية المائع التي مرت من خلال العداد .

توجد عدادات تشتمل على أكثر من أسطوانة واحدة ومنها نوع يشتمل على أربع أسطوانات مرتبة تعامدياً بحيث يكون محور أي منها عمودياً على محور المجاورة لها . وتوصل هذه الأسطوانات بالتبادل بواسطة صمام دوار على فتحة المدخل والمخرج وتستخدم الحركة الزردية للمكابس في تشغيل عداد يعطى إجمالى كمية المائع التي تدفقت عبر العداد .

## ٦ / ٢ عدادات معدل التدفق :

إذا كان مقطع ماسورة هو ١ مرأ مربعاً وسرعة السائل بها منتظمة على مقطعها وقيمها ع م / ث فإن اع مرأ مكعباً هو حجم السائل الذى يتدفق فيها في الثانية الواحدة . وفي الحقيقة فإن السرعة لا تكون منتظمة على مقطع الأنبوبة وإنما تكون أكبر عند مركز هذا المقطع وأقل عند نقاط تلامس السائل بالماسورة . وإذا أمكننا قياس سرعة ترتبط بعلاقة ثابتة مع السرعة المتوسطة على المقطع فإن الحجم المتدفق يكون مساوياً لنتائج  $\text{ث} \times \text{أ} \times \text{ع م} / ٣$  حيث ث ثابت الماسورة ويمثل العلاقة بين المتوسط

الحقيقى للسرعة والسرعة المقيسة . ويلاحظ أن هذا الثابت يعتمد على شكل المقطع ، ويمكن تعيينه بالتجربة لأى مقطع معين . وتعمل عدادات معدل التدفق على هذا المبدأ لقياس سرعة السائل عبر العداد . وتنقسم عدادات معدل التعدل ، حسب نوع المائع المقيس ، إلى عدادات معدل التدفق للسوائل وتشمل عدادات الريشة المنحرفة وعدادات الريشة الدوارة وعدادات الريشة الحلزونية والعدادات التوربينية والعدادات التوافقية والعدادات المغناطيسية وعدادات التدفق فوق السمعى . والقسم الثانى عدادات معدل التدفق للغازات فتشمل عدادات الريشة الحارفة وعدادات الريشة الدوارة والعدادات الحرارية .

٦ / ٢ / ١ عدادات معدل التدفق للسوائل :

٦ / ٢ / ١ عداد الريشة الدوارة :

يتكون هذا العداد من عدد من الأجنحة مرتبة حول محيط قرص أو مجرد موصلة قطرياً على مسافات حول محور دوران بحيث يكون جناح واحد على الأقل فى تيار السائل وسوف تؤدى القوى الناتجة على هذه الأجنحة إلى دوراها باستمرار ويكون معدل الدوران مقياساً لسرعة السائل فى العداد . وهذه السرعة هى الأخرى مقياس لكمية السائل الكلية التى تدفقت عبر العداد . ويتم تنظيم العداد بتجريك عارضة منضبطة تؤثر على السحب الواقع على الريشة الدوارة . ويقاس كل من التدفق الأمامى والحلقى وتسجل محصلة التدفق على قرص مدرج . ويمكن أن يكون العنصر الثانوى أو المؤشر فى العداد إما عداد دورات بسيط يعطى قراءة مباشرة أو قد يشتمل على عدد من الأقراص المدرجة .

ويصنع العداد من مادة مقاومة للصدا ، وعندما يستخدم لقياس الماء تكون جميع أجزائه العاملة من النيكل وتصنع الريش الدوارة من بلاستيك خاص . ويوجد فى الأسواق تصميمان لهذا العداد ، أحدهما للاستخدام فى المواسير الأفقية والآخر للمواسير

الرأسية ويصلح التصميم الأخير للتدفق الصاعد أو الهابط . ولقياس معدلات تدفق كبيرة في المجارى المغلقة فإنه يتم استبدال المروحة ذات الريش الدوارة بمروحة حلزونية مركبة مركزياً في جسم العداد ويكون محورهما في اتجاه التدفق . وتتكون المروحة من أسطوانة جوفاء عليها أجنحة مشكلة بدقة .

### ٦ / ٣ قياس التدفق بواسطة قياس الضغط الفرقى :

تعتبر طرق قياس معدلات التدفق بواسطة قياس الضغط الفرقى من أقدم الطرق التي لا تزال مستخدمة بالصناعة حتى الآن . وهي تمتاز على جميع الطرق الأخرى بالبساطة والدقة وقلة التكاليف . وقد يمكن القول إن عدادات التدفق التي تعتمد في قياسها على قياس الضغط الفرقى هي أكثر أنواع العدادات انتشاراً واستخداماً . وتعتمد هذه العدادات في قياسها على أساس أنه عندما يدخل اختناق في مجرى التيار فإن سرعة السائل أو الغاز المتدفق ، وبالتالي طاقته الحركية ، تزداد وحيث إن الطاقة لا تستحدث ولا تفنى ، فإن الزيادة في الطاقة الحركية تكون على حساب طاقة الضغط ، أى أن الضغط يقل عبر الاختناق ، ويكون هناك ما يسمى بالضغط الفرقى الذي يمكن قياسه ، ومنه يتم حساب سرعة تيار المائع .

وإذا كانت  $T$  تمثل معدل التدفق الحجمى للمائع ،  $\theta$  كثافته ،  $M$  مساحة مقطع الماسورة أو الأنبوبة التي يتدفق بها المائع ،  $\Delta P$  الضغط الفرقى عبر الاختناق الموضوع في مجرى هذا التيار ، فإنه يمكن إثبات العلاقة التالية باستخدام نظرية « برنولى » :

$$T = K \cdot M \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\theta}}$$

حيث  $K$  ثابت .

وهذه العلاقة تستخدم في حساب  $T$  ح .

ويمكن إذا تم تثبيت مساحة مجرى التدفق قياس التدفق بواسطة قياس علو الضغط ، ويمكن أيضاً المحافظة على معدل تدفق ثابت بتثبيت قيمتى المساحة وعلو الضغط . ويمكن أيضاً تثبيت علو الضغط وقياس المساحة اللازمة للمحافظة على التدفق

ثابتاً ، وأخيراً يمكن السماح بتغيير كل من علو الضغط والمساحة كما في حالة المجرى المفتوح وبقياس الاثنين يمكن الحصول على التدفق . لذلك يمكن توصيف طرق الضغط الفرقى لقياس التدفق تحت العناوين التالية :

أولاً : طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط المتغير :

ويتم تثبيت المساحة بإدخال أحد العناصر التالية والتي تشمل العناصر الرئيسية في خطوط أو أنابيب التدفق :

( أ ) أنبوبة « بيتوت » الساكنة .

( ب ) أنبوبة « فتورى » ، وفوهة التدفق .

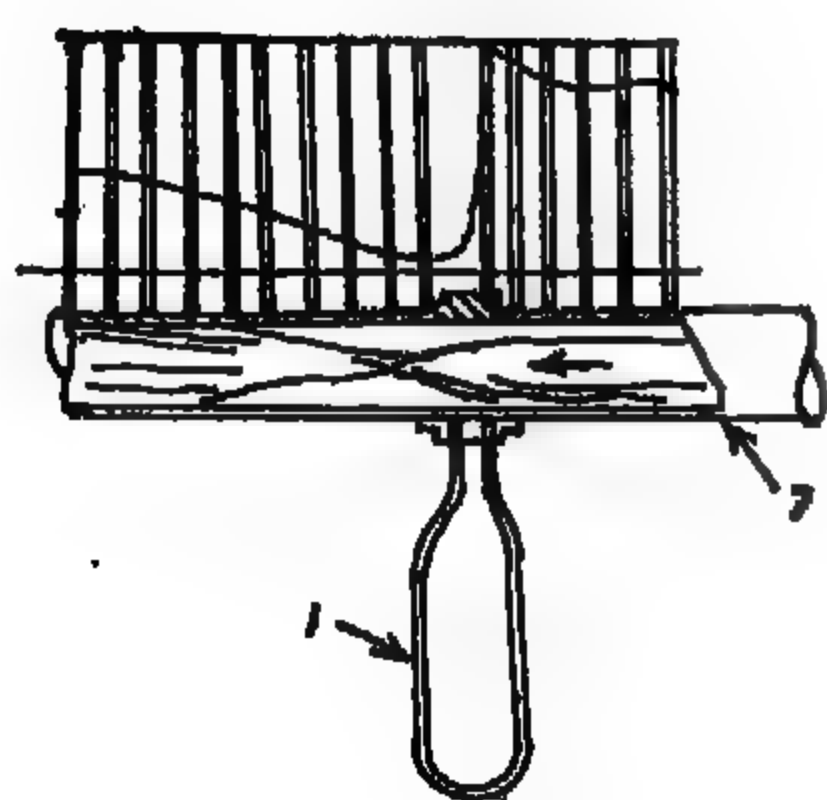
( ح ) أنبوبة « بيتوت - فتورى » .

( د ) أنبوبة « دول » .

( هـ ) اللوح ذو الفتحة .

وينشأ نتيجة لإدخال أحد العناصر الرئيسية ضغط فرق بالشكل رقم ( ٦٤ ) يتم قياسه بواسطة إحدى الوسائل الثانوية لقياس الضغط مثل المانومترات أو المنافيخ . . إلخ التي سبق ذكرها في الباب الخامس .

الشكل رقم ( ٦٤ )



التدفق عند اختناق يؤدي إلى تشوه فرق ضغط يتناسب مع  
حول التدفق .

( ١ ) مانومتر زئبق .

( ٢ ) أنبوبة يتدفق بها السائل .

( ٣ ) ١٧ أنابيب زجاجية من الضغط الإستاتيكي

ويلاحظ أن أدنى قيمته السابقة للاختناق .

وتتشابه جميع العناصر الرئيسية السابقة فيما يلي :

- ١ - إن كلا منها يحتاج إلى جهاز لقياس الضغط الفرقى .
- ٢ - إن كلا منها يحتاج إلى ذات التجهيزات من الأنابيب وأيضاً نفس الاحتياطات .

٣ - ينتج عن كل منها انخفاض فى الضغط فى الخط أو الأنبوبة .

وفى الوقت ذاته توجد بينها فروق كالتالى :

- ١ - الانخفاض فى الضغط فى حالة اللوح ذو الفتحة أشد عنه فى حالتى الفوهة أو أنبوبة «فتورى» .

٢ - تكون استعادة الضغط أقل ما يمكن بالنسبة للوح ذى الفتحة .

٣ - أنبوبة «فتورى» أكثرها تكلفة بينما اللوح ذو الفتحة أقلها تكلفة .

٤ - اللوح ذو الفتحة أسهل فى التصنيع عن الوسائل الأخرى .

٥ - يملأ تيار التدفق فتحات الفتورى والفوهة ، ولكنه يتقلص عند مروره بفتحة

اللوحة حيث تصل نسبة الخفض فيه إلى حوالى ٤٠ ٪ .

٦ - معامل التدفق للفتورى والفوهة يظل ثابتاً تقريباً فى مدى تشغيلها ولكن

معامل التدفق لفتحة اللوح يتغير قليلاً .

٧ - تتأثر «الفتورى» قليلاً بوجود مواد صلبة فى المائع المتدفق ، ويمكن للفوهة

تحمل تركيزات ضئيلة من المواد الغريبة ولكن الفتحة تتأثر خصائصها بشدة بتجمع المواد الصلبة أمامها .

ثانياً : طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط الثابت :

ثالثاً : طرق المساحة المتغيرة وعلو الضغط الثابت ويندرج تحتها العدادات التالية :

العداد ذوالبوابة ، العداد ذو الفتحة ، العداد ذو الأنبوبة المستدقة والعوامة .



رابعاً : طرق المساحة المتغيرة وعلو الضغط المتغير ويندرج تحتها :

قناطر الاحتجاز - القنوات .

خامساً : العدادات ذات الهدف :

سادساً : المحملات الميكانيكية :

المحملات الكهربائية .

المحملات البنيوماتية .

٦ / ٣ / ١ طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط للتغير :

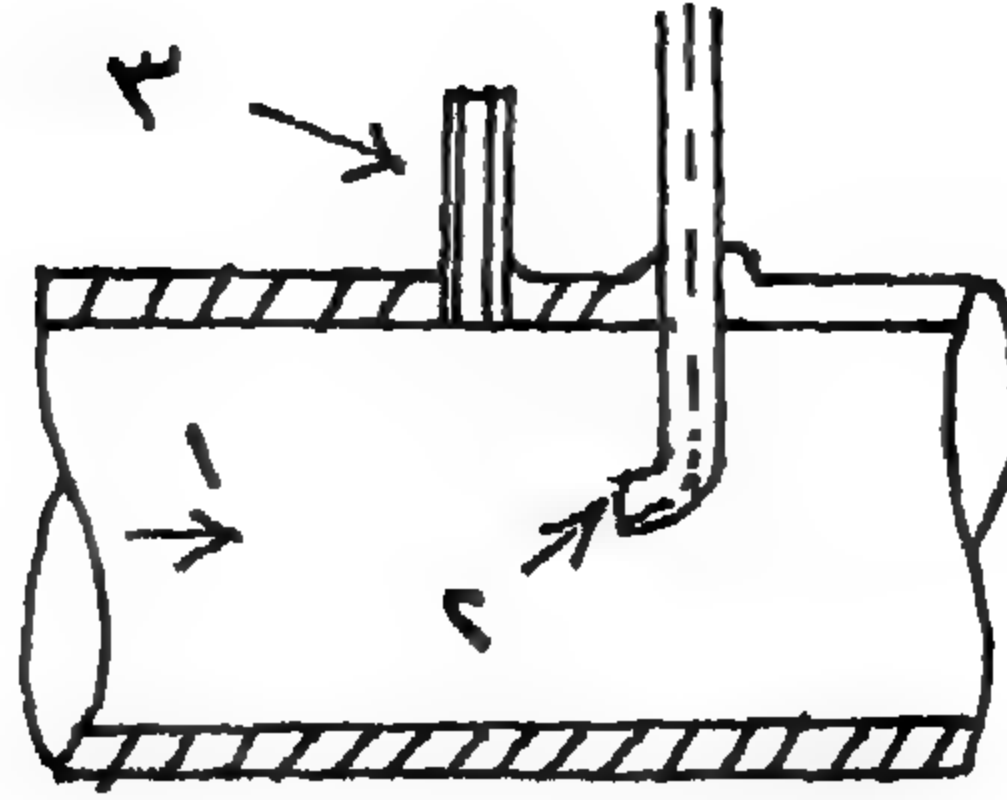
ذكرنا فيما سبق أن العناصر الرئيسية المستخدمة في طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط المتغير تشمل أنابيب «بيتوت» و«فتورى» و«دول» والألواح ذات الفتحات ، ونبين فيما يلي أهم هذه العناصر وهى أنابيب «بيتوت» و«فتورى» والألواح ذات الفوهات :

(١) أنبوبة «بيتوت» الساكنة : الشكل رقم (٦٥) ، وتستخدم كثيراً لقياس سرعة المائع عند نقطة واحدة داخل ماسورة ، كما تستخدم في قياس سرعة الطائرات بالنسبة للهواء ويتم القياس بوضع فتحة الصدم مباشرة في خط التدفق والفتحة الساكنة عمودياً على فتحة الصدم ويكون الضغط الفرقى بين النتيجتين متناسباً مع السرعة .

ويحسب معدل كمية التدفق من النسبة بين متوسط السرعة إلى السرعة عند نقطة القياس . ويجب اتخاذ عدد من الاحتياطات عند استعمال أنابيب «بيتوت» منها ما يلي :

— أن يكون محور أنبوبة بيتوت موازياً لمحور الماسورة وألا تتعرض الأنبوبة لأية اهتزازات .

— أن يكون المائع إما غازاً أو سائلاً فقط وأن تكون سرعة التدفق ما بين ٣ م / ث ، ٣٠ م / ث للغازات أو الأبخرة وما بين ١ م / ث ، ٢,٤ م / ث للسوائل .



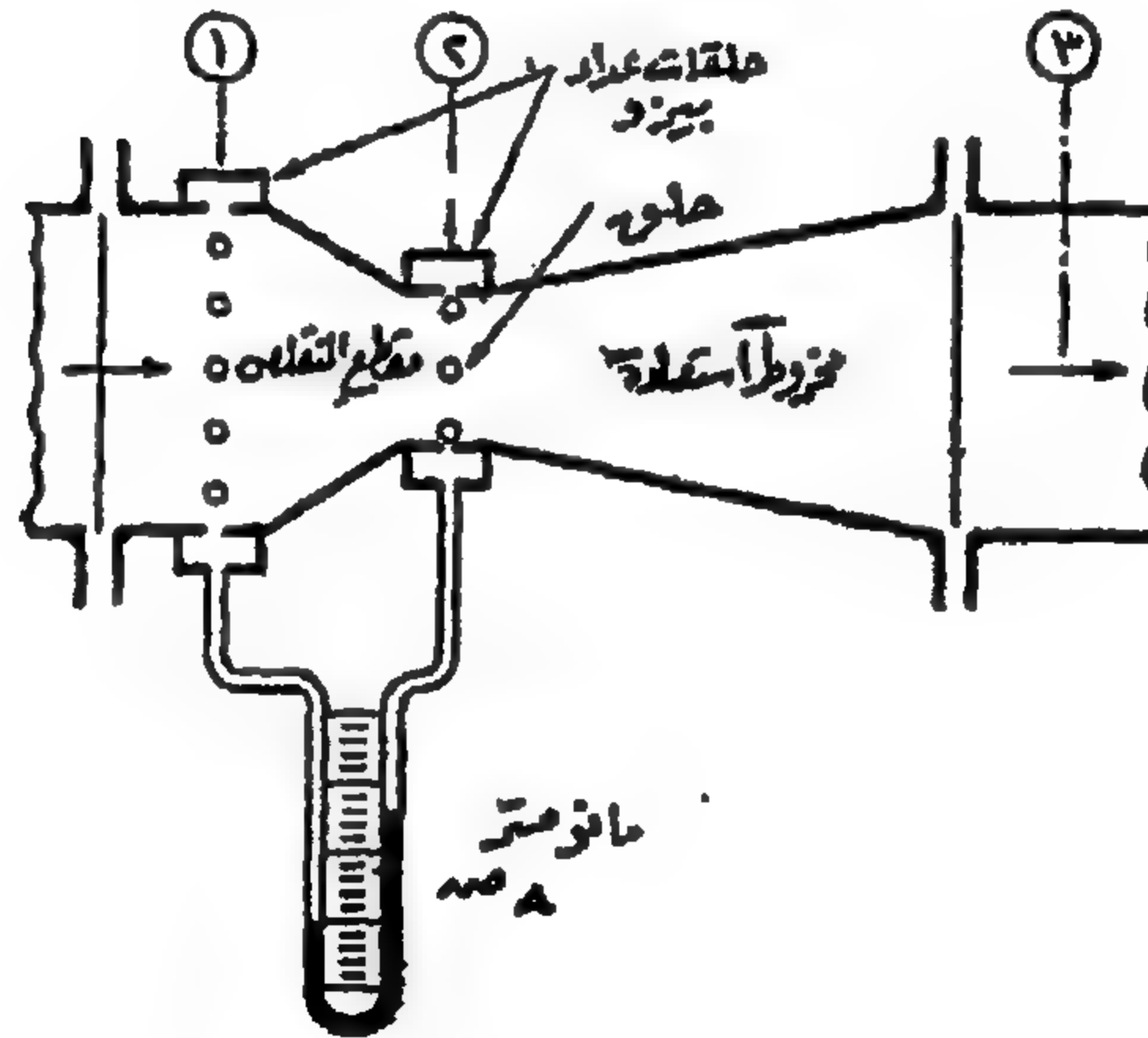
الشكل رقم (٦٥)

أنبوبة (بينوت) ذات الفتحة الواحدة .

(١) اتجاه التدفق .

(٢) فتحة الصدم .

(٣) مأخذ الضغط الإستاتيكي « الساكن » .



شكل (٦٦)

أنبوبة فتوري .

(١) قطع متقارب .

(٢) الرقبة .

(٣) مخروط إستعادة .

الشكل رقم (٦٧)

لوحة ذو فتحة حادة .

- أن تكون الماسورة خالية من الحواجز ومستقيمة على الأقل على طول قدره ٢٠ ق (ق = قطر الماسورة ذاتها) قبل مستوى القياس إلا إذا استعمل مقوم للتدفق (الأنسياب)

- ألا يتعدى قطر رأس أنبوبة بيتوت الساكنة  $\frac{1}{20}$  من قطر القناة ذات القطر الثابت في حدود + ٠,٥ % .

- ألا تزيد زاوية التدويم على + ٥° من اتجاه محور الماسورة ويشترط عدم وجود أية تقلبات ملموسة في الضغط .

- يجب أن تكون الأنبوبة خالية ، على طول مساو لنصف قطرها على كلا جانبي مستوى القياس ، من أية تغيرات فجائية لقطرها أو أية بروزات ، ويجب ألا تقل المسافة بين أنبوبة «بيتوت» الساكنة والجدار عن ثلاثة أرباع قطر الأنبوبة . وتتلخص مزايا أنبوبة «بيتوت» الساكنة في التالي :

- لا تؤدي إلى فقد ملموس في ضغط المنبع أو الخط الرئيسي إلا إذا كانت كبيرة بالمقارنة مع المنبع ، كما أنه يمكن إدخالها في فتحة صغيرة نسبية في الخط الرئيسي دون حاجة لإغلاقه ، لهذا فإنها مفيدة جداً لتقدير التدفق في منبع حتى يمكن تركيب أداة دائمة لقياس التدفق مثل النوع ذى الفتحة .

- يمكن استخدامها لإيجاد توزيع السرعات في خط رئيسي أو مصرف غاز كما هو الحال عندما يكون المطلوب تحديد المكان الذى توضع به أنبوبة العينات في مصرف غاز بهدف تحليل الغازات في العادم .

- قليلة التكاليف .

أما عيوب أنبوبة «بيتوت» فتتضح فى أنه إذا لم تتخذ احتياطات واسعة لما أمكن الحصول على دقة عالية فضلاً عن أن الضغط الفرقى الناتج وبصفة خاصة فى حالة قياس التدفق للغازات يكون صغيراً وبسبب هذا العيب فقد تم صناعة نوع معدل من أنبوبة «بيتوت» مثل أنبوبة «بيتوت - فتودى» .

## ٢ - أنابيب «فتورى» :

تكون أنبوبة فتورى من مدخل ذى مقطع متقلص ، رقبة أسطوانية ومخروط استعادة متفرق (الشكل رقم ٦٦) . وتزداد سرعة المائع فى المدخل بينما يقل علو الضغط . وفى قطاع الرقبة يظل معدل التدفق ساكناً لأنه لا يوجد أى تغير فى المقطع العرضى ويقل هذا المعدل فى قطاع الاستعادة . ويستعاد النقص فى علو السرعة بزيادة فى الضغط . وتؤدى الإستعادة النسبية الكبيرة عند هذه النقطة إلى فقد دائم فى حدود ١٠ - ٢٠ ٪ فقط من الضغط الفرقى عبر الأنبوبة ويقل هذا الفقد بزيادة قطر رقبة أنبوبة الفتورى . وتتميز أنبوبة «فتورى» بعدد من الميزات أهمها أن الفقد الكلى فى الضغط أقل من الفقد بالنسبة للفوهات والأقراص ذات الفتحات . وهذه الميزة تظهر فائدتها جلية فى الحالة التى يكون فيها علو الضغط المتاح صغيراً . وتستخدم أنبوبة «فتورى» لقياس التدفق للسوائل القذرة التى يوجد بها مواد صلبة عالقة . وتتمثل العيوب الرئيسية للأنبوبة فى ارتفاع تكاليفها الأصلية . وعدم إمكان تركيبها فى خط أنابيب موجود بالفعل . وعندما تتركب فى إحدى التجهيزات فإنه يستحيل تغيير مدى التدفق بهذه التجهيزات إلا إذا عدل جهاز قياس الضغط الفرقى أو استبدلت أنبوبة «فتورى» بأخرى مناسبة .

ويلزم عند تركيب واستعمال أنبوبة «فتورى» التأكد مما يلى :

- أن مدخل أنبوبة «فتورى» ذو قطر مساوٍ لقطر الماسورة التى يراد قياس التدفق بها وأن محور الأنبوبة على امتداد محور الماسورة .

- أن قطر فتحات الضغط عند المدخل لا يتعدى  $\frac{1}{10}$  قطر مقطع المدخل ، وأن قطر فتحات الضغط لا يتعدى  $\frac{1}{10}$  قطر الرقبة .

وبالإضافة إلى ما سبق يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمنع حدوث أى تلف أو صدأ بالأنبوبة من الداخل لأن ذلك يؤثر على دقتها . وكذلك يجب اتخاذ الإجراءات

اللازمة لكي لا يكون أى جزء من مادة الوصل المستعملة بارزاً داخل الأنبوبة وكذلك لا يكون بالأنبوبة ذاتها أى بروز ناتج عن التصنيع .

### الألواح ذات الفتحات :

يعتبر اللوح ذو الفتحة من أقدم الوسائل المستخدمة فى قياس التدفق ، وقد استخدمت لأول مرة فى عهد الرومان كوسيلة للتحكم فى كمية الماء الموزعة إلى المجرى المائية المختلفة ثم استخدمت بعد ذلك لقياس تدفق الماء من خزان كبير إلى آخر وهى تستخدم الآن فى قياس تدفق الموائع فى المواسير .

وأبسط نوع من الألواح موضح بالشكل رقم (٦٧) وهو عبارة عن لوح معدنى رقيق به فتحة دائرية ذات حد قائم وهذه الفتحة مرتبة بحيث تكون متحدة المحور مع الماسورة .

وعند قياس تدفق الموائع القدرة ، أو التى تحتوى على مواد صلبة ، فإن الفتحة توضع بحيث تكون حافتها السفلية منطبقة على القاع السفلية الداخلية للماسورة ، وبذلك فإنها تسمح للمواد الصلبة بالمرور ، دون عائق ، وقد كان المعتاد فى هذه الحالة أن توضع مأخذ الضغط عند نقطة مقابلة قطرياً للنقطة التى تتطابق فيها الفتحة مع الماسورة غير أنه وجد فى الممارسات الحديثة أن ذلك ليس ضرورياً ، والآن فإنها توضعان على الجوانب لأن الهواء المحبوس فى السائل يودى إلى خطوط نبضية فى قمة الماسورة . ويدخل اللوح فى الخط الرئيسى للمائع بين شفتين متجاورتين .



شكل رقم (٦٧)  
لوح ذو فتحة

ويمكن استخدام اللوح ذى الفتحة لقياس تدفق الغازات أو السوائل أو الأبخرة غير أنه بالنسبة للسوائل القابلة للانضغاط فإن قيمة انخفاض الضغط بالمليمتر ماء (مقياس) يجب ألا تتعدى ١٤٩٣ مرة القيمة العددية لضغط مصعد التيار مقدرة بوحدة نيوتن / م<sup>٢</sup> (مطلق). ولا تصلح هذه الوسيلة لقياس تدفق الموائع اللزجة أو لقياس التدفق الخارج. وعندما يستخدم اللوح ذو الفتحة مع مآخذ في الشفة فإن أدنى قطر داخلي للماسورة يكون ٥٠ مم وأدنى قطر للفتحة هو ٥٥ مم. وهي تصلح بصفة عامة، لقياسات لنسب مساحات من صفر إلى  $\frac{1}{4}$  وأرقام «رينولدز» ابتداء من ١٠٠٠ فأكثر لمواسير ذات أقطار من ٢٥ إلى ٥٠ مم. ونسبة مساحات من صفر إلى ٠,٧ وأرقام رينولدز من ٢٠٠٠٠ فأكثر لمواسير ذات أقطار ٥٠ مم وأكبر.

ويصنع اللوح عادة من الصلب الذى لا يصدأ أو معدن مونل أو معدن البنادق وقد استعملت أيضاً بالنسبة للموائع المسببة للصدأ، ألواح من الأبونيت وغيره من المواد غير المعدنية، ومن الضرورى ألا تصدأ مادة اللوح بواسطة المائع المقيس وإلا فإن جافة الفتحة سوف تصير مدورة بدرجة تؤثر على كل من خصائص التدفق ودقة القياس.

### ٢/٣/٦ طرق المساحة وعلو الضغط الثابت :

من المعلوم أنه بالنسبة لتجهيزات معينة يكون التدفق عبر العنصر الرئيسى ثابتاً إذا تم تثبيت كل من مساحة هذا العنصر والضغط الفرقى خلاله. ويستخدم هذا المبدأ كأساس لعمل العداد القمعى ومعاير التدفق ومنسوب التدفق الثابت. وقد استخدم العداد القمعى ومعاير التدفق كآئمة تشغيل لاختبار عداد الإزاحة ذى السعات الكبيرة المستخدمة فى قياس تدفق الغاز وذلك فى مواقع استخدامها. وعندما يستخدمان كجهازى معايرة فإنه يتم توصيلهما بمخرج عداد إزاحة ويصرفان فى الهواء. ويتكون العداد القمعى من مجموعة من الفتحات فى لوح يقع فى نهاية خزان أو فى النهاية الواسعة لقمع. وتقوم الفتحات بالتصريف فى الهواء. ويظل الضغط الفرقى عبر

العداد ثابتاً طوال الاختبار ، ويتم التحكم في معدل التدفق بعدد الفتحات المفتوحة بينما يتم إغلاق باقي الفتحات بواسطة سدادات من الكاوتش . ويفترض أن خصائص التدفق للعداد واحدة بغض النظر عن عدد الفتحات المفتوحة ، ويمكن استخدام المعادلة العامة لعداد الفتحة لحساب معدل التدفق غير أنه من المعتاد أن يتم حساب الضغط الفرقى الذى يجب استخدامه من معادلة تجريبية تشمل الوزن النوعى للغاز وضغطه . ومعايير التدفق عبارة عن نوع مطور من العداد القمعى فهو يتكون من شفتين لعدادات الفتحة مزودتين بمقاطع دخول وخروج طولها يتراوح بين (٨-١٠) أمثال قطر الماسورة . ويمكن أن يركب بين هاتين الشفتين عدد من الفتحات التبادلية ذات المقاسات المختلفة ، ويقاس الضغط الفرقى عبر الفتحة بواسطة مانومتر ، ويتم معايرة كل فتحة تحت ضغط فرقى يحسب من معادلة تجريبية ، بغاز معلوم الكثافة ويتم تثبيت معدل التدفق الاسمى . ويمكن استخدام الجهاز بعد ذلك لمراجعة أية تجهيزات لعداد تدفق الغاز . ويتكون عداد « التدفق من مستوى ثابت » من وعاء به فتحة فى أسفله يتدفق منها السائل الموجود بالخزان ويحافظ على أن يكون علو ضغط السائل ثابتاً وذلك بأية طريقة مناسبة ، وبذلك فإن التدفق عبر الفتحة يظل ثابتاً طالما أن هذه الفتحة لم تتآكل أو تصير قذرة .

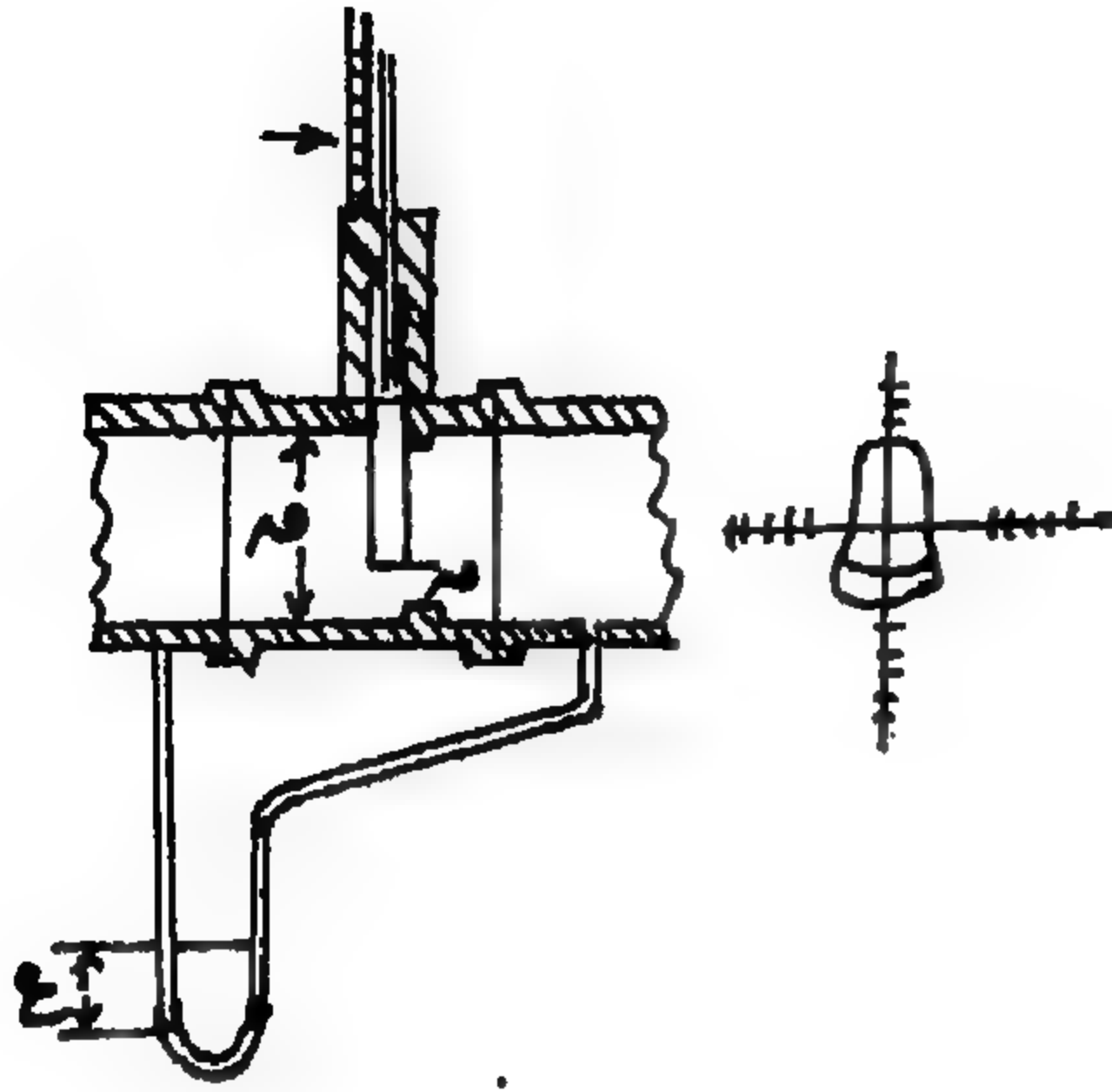
٦ / ٣ / ٣ طرق المساحة المتغيرة ، وعلو ضغط ثابت :

٦ / ٣ / ٣ / ١ عداد الحاجز المتحرك (البوابة) الشكل رقم (٦٨) :

تتغير مساحة الفتحة فى هذا العدد برفع أو إنزال البوابة يدوياً بواسطة محرك كهربائى متحكم فيه تلقائياً ، وتحرك البوابة بحيث تتم المحافظة على انخفاض ثابت فى الضغط عبر الفتحة ويقاس هذا الانخفاض فى الضغط بواسطة ماخذين على جانبي البوابة كما هو موضح بالشكل (٦٨) .

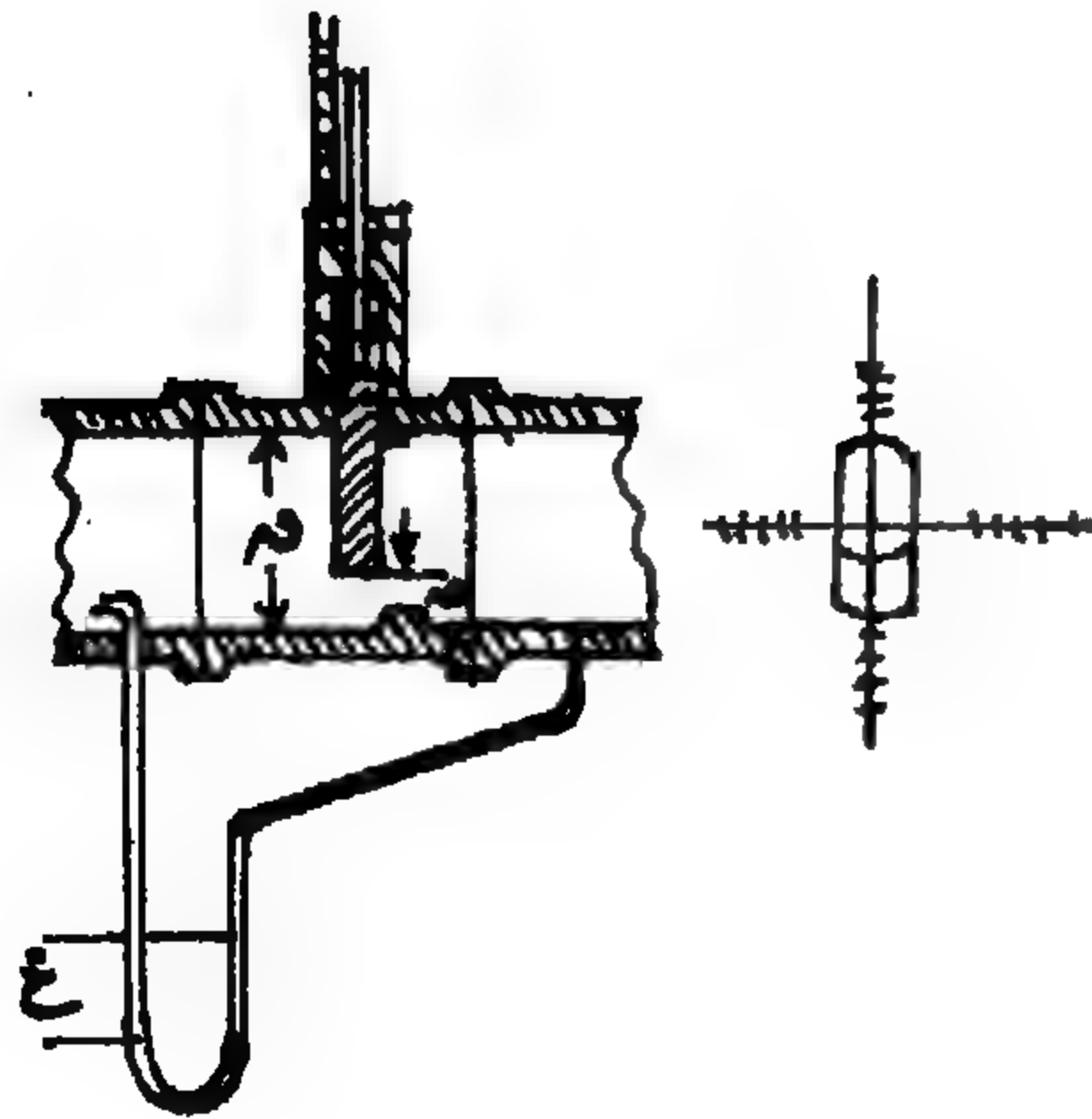
ويحدد موضع البوابة بواسطة تدريج . وعندما يزداد معدل تدفق المائع من الفتحة فإن الفتحة تزداد .





الشكل رقم (٦٨)  
عداد الحاجز المتحرك (البوابة).

ويمكن جعل التدفق عبر العداد معتمداً اعتماداً مباشراً على مساحة الفتحة لو أننا قمنا بقياس ضغط الدفع عند مأخذ مصعد التيار (كما في الشكل ٦٨) بدلا من قياس الضغط الاستاتيكي المعتاد عند هذا المأخذ ، ويمكن إجراء ذلك بأن يكون مأخذ مصعد التيار على شكل أنبوبة طرفها المفتوح يواجه مصعد التيار مباشرة كما بالشكل (٦٩) ، أي أنها تعمل مثل أنبوبة «بيتوت» .



الشكل رقم (٦٩)  
عداد الحاجز المتحرك مصححاً لسرعة الاقتراب .

٦ / ٣ / ٣ / ٢ عدادات التدفق ذات المساحة المتغيرة (الروتامترات) :

يتكون الروتامتر من أنبوبة طويلة مدرجة ومستدقة بانتظام ، والمقطع الصغير في العادة يكون عند القاع ، ومحور الأنبوبة رأسى . وتوجد عوامة تتحرك بحرية داخل الأنبوبة . وهذه العوامة قد تكون على شكل كرة بسيطة أو على شكل شاغول . ويوجد بالأنبوبة دليل مركزي واحد أو عدد من الدلائل الحزبية المشكلة بالأنبوبة تحافظ على إبقاء الثقل على محور الأنبوبة .

وعندما يزداد معدل التدفق في العداد ، ترتفع العوامة في الأنبوبة وبالتالي تزيد مساحة الحيز الحلقى ويظل الضغط الفرق عبر العوامة عند قيمة معينة ثابتة .

وإذا كانت كثافة المائع بالكيلوجرام لكل متر مكعب هي  $\theta$  والكثافة للعوامة  $\theta_c$  وحجمها  $C$  فإنه ستكون هناك قوة مؤثرة على العوامة بسبب ميل المائع للالتصاق بسطحها في اتجاه التيار وبسبب لزوجة المائع غير أنه في معظم الحالات تكون هذه القوة صغيرة ويمكن إهمالها ، لهذا فإن العوامة تكون متوازنة تحت تأثير ثلاث قوى ، وزنها ودفع السائل إلى أعلى ، والفرق بين القوى الواقعة على سطحها العلوى والسفلى ، أما الضغط على السطح الأدنى (السفلى) فهو ضغط الدفع  $(\theta_c / \theta)$  للسائل المتدفق في الحيز الحلقى بينا الضغط  $(\theta / \theta_c)$  يؤثر على السطح العلوى سوف يكون الضغط الإستانتيكى في مهبط التيار . وإذا كانت هي المساحة الفعالة للعوامة عمودياً على التيار ، فإن هذا الفرق في ضغط يسبب قوة مقدارها  $(\theta_c - \theta) A$  نيوتن في اتجاه التيار.

وزن العوامة = (فرق الضغط  $\times$  المساحة الفعالة) + الدفع على العوامة

$$C \theta_c = (\theta_c - \theta) A + C \theta$$

وباستخدام هذه المعادلة والمعادلة الخاصة بسرعة المائع من الحيز الحلقى

ع<sup>٢</sup> = ٢ ج ل<sub>٢</sub> فإنه يمكن إثبات العلاقة التالية :

$$ت ح = ث أ_{٢} \sqrt{\frac{٢ ج}{١} \frac{ثع - شم}{شم}} \quad م ٣ / ث$$

حيث ت ح = التصريف الحجمي بالمتر المكعب في الثانية الواحدة ، ح مجلة الجاذبية الأرضية

$$ت ك = ث أ_{٢} \sqrt{\frac{٢ ج}{١} (ثع - شم)} \quad شم كجم / ث$$

حيث ث هو ثابت التصريف للجهاز ، ويعتمد على نمط التدفق داخل الأنبوبة ونمط التدفق يعتمد ، إلى حد كبير ، على كل من لزوجة المائع ومعدل تدفقه داخل الأنبوبة . وبالنسبة لعائم على شكل شاغول من الرصاص فإن معدل التصريف يزيد زيادة مطردة بزيادة رقم رينولدز حتى ٧٠٠٠ ثم يظل ثابتاً .



الشكل رقم (٧٠)

كل من أ ، ب. عوامة مصممة بحيث تقلل ميل السائل لحملها والتصميم ب أفضل من أ .



ويعطى عائم مثل ذلك الموضح في شكل رقم (٧٠ أ) العداد قيمة ثابتة لمعامل التصريف لجميع أرقام رينولدز أعلى من ٣٠٠ ، وباستخدام عائم كما هو موضح بالشكل (٧٠ ب) فإن ذلك يعطى العداد قيمة ثابتة لمعامل تجميع أرقام رينولدز أعلى من ٤٠ ، وهذا يعطى الجهاز ميزة كبيرة إذ أنها تعطى معايرة ثابتة لمدى كبير من التدفقات ومدى كبير من اللزوجة للمائع المقيس . وهذا يتيح بناء سلسلة من العدادات ذات مدى كبير دون حاجة لمعايرة كل منها نظراً لأن معامل التصريف لهذا النوع من التدفق يظل ثابتاً قيمته ٠,٦١ وعندما يستخدم هذا العائم فإن جسم العوامة الذى يعطى وزنها يكون خارج السائل المتدفق .

يتميز الروتامتر أيضاً بأنه يمكن إعداده ليعطى بياناً بوحدات الوزن التى لا تعتمد على التغيرات الطفيفة فى الوزن النوعى للسائل المقيس . وهذا ذو فائدة كبرى فى قياس السوائل البترولية وما يشابهها عندما يتغير الوزن النوعى فى حدود ضيقة . ويمكن أن نرى من العلاقة الخاصة بالتصرف الكتلى ت و ، أنه يعتمد على

$$\sqrt{(ث ع - ث م) ث م}$$

فإذا كانت  $ث ع = ٢ ث م$  حيث تكون  $ث ع - ث م = ث م$

وبالتالى فإنه بالنسبة للتغيرات الطفيفة فى  $ث ع$  فإن

(ث ع - ث م)  $ث م$  سوف يبقى ثابتاً إلى حد كبير ، حيث تعوض الزيادة فى  $ث ع$

بنقص مناظر فى  $ث ع - ث م$  . ولهذا فإنه عند قياس سائل بترولى وزنه النوعى حوالى

(٠,٧٢) فى حالة وصنع العوامة من مادة وزنها النوعى ١,٤٤ فإن حاصل ضرب (ث ع

- ث م)  $ث م$  سوف يبقى ثابتاً بدرجة معقولة لقيم  $ث م$  من ٠,٧٠ إلى ٠,٧٤ كما هو

موضح بالجدول التالى :

ث م	(ث ع - ث م) ث م
٠,٧٠	$٠,٧٤ \times ٠,٧٠ = ٠,٥١٨٠$
٠,٧٢	$٠,٧٢ \times ٠,٧٢ = ٥١٨٤$
٠,٧٤	$٠,٧٠ \times ٠,٧٤ = ٥١٨٠$

ويمكن عن طريق صنع عوامات من مواد مختلفة استخدام الروتامترات في قياسات التدفق لعدد كبير من السوائل .

٤/٣/٦ عدادات علو الضغط المتغير والمساحة المتغيرة :

لكي يتم زيادة مدى عدادات التدفق التي تعتمد في قياسها على الضغط الفرق فإنه تم تطوير عداد يتم فيه قياس الضغط الفرق عبر فتحة تتزايد مساحتها مع التدفق . وبهذه الطريقة فإنه أمكن قياس تدفقات تبلغ ١ / ١٠٠٠ من أقصى حد للعداد وبدقة أفضل من  $\pm ١\%$  .



## المصطلحات الفنية

( إنجليزى - عربى )

Absorptive Power	قدرة الامتصاص
Absolute pressure	ضغط مطلق
Acceleration	عجلة (تسارع)
Acetone	أسيتون
Accuracy	دقة
Alloy	سبيكة
Amount of substance	كمية مادة
Angular Acceleration	عجلة (تسارع) زاوية
Angular momentum	كمية تحرك زاوى
Angular Velocity	سرعة زاوية
Annealing	تخمير (تلدين)
Average Velocity	سرعة متوسطة
Atmospheric pressure	ضغط جوى
Automatic Optical Pyrometer	بيرومتر بصرى تلقائى
Baffle	حاجز (عارضضة)
Barometer	مقياس الضغط الجوى
Base	أساس
Beckmann thermometer	ترمومتر «بكان»
Bernoulli's theorem	نظرية «برنولى»
Bimetallic thermometer	ترمومتر ثنائى المعدن
Binding post	مربط توصيل



Black body radiation	إشعاع الجسم الأسود
Boiling point	نقطة الغليان
Bourdon tube	أنبوبة «بوردون»
Change of state thermometer	ترمومتر تغير الحالة
Coefficient of heat transfer	معامل انتقال الحرارة
Collapsible die	قالب قابل للطي
Complete immersion thermometer	ترمومتر
Concentration	تركيز
Conductivity	موصلية
Diaphragm	غشاء (رق)
Diaphragm pressure gauge	مقياس ضغط ذو غشاء
Differential pressure	ضغط فرق
Diffusion coefficient	معامل انتشار
Displacement	إزاحة
Electric capacitance	مواسعة كهربائية
Electric conductance	موصلة كهربائية
Electric potential	جهد كهربائي
Electrical resistance	مقاومة كهربائية
Emissive power	قدرة الانبعاث
Filament	فتيلة
Flow-meter prover	معاير مقياس التدفق
Flow nozzle	فوهة التدفق
Flow orifice meter	مقياس التدفق ذو الفتحة
Flow straightener	مقوم التدفق
Fluid	مائع
Flume	مسيل عريض منحدر
Fluted Spiral rotor	دوار حلزوني مخدد

Gas thermometer	ترمومتر الغاز
Gauge pressure	مدلول مقياس الضغط
Gearing ratio	نسبة التعشيق
Glass thermometer	ترمومتر زجاجي
Heat capacity	سعة حرارية
Hertz	هرتز
Hook's law	قانون «هوك»
Hygrometer	هيجرومتر
Hysteresis	بطاء
Hysteresis error	خطأ البطاء
Illuminance	استضاءة
Impregnate	يتشرب
Inclined limb manometer	مانومتر ذو ساق مائلة
International System	نظام دولي
Joule	جول
Latent heat	حرارة كامنة
Light train	قطار ضوئي
Limits of error	حدود الخطأ
Liquid steel	صلب سائل (مصهور)
Luminance	إضاءة
Luminous intensity	شدة إضاءة
Manual optical pyrometer	بيرومتر بصري يدوي
Mass	كتلة
Mass flow rate	معدل تدفق كتلي
Metric Units	وحدات مترية
Moment of force	عزم القوة
Moment of Momentum	عزم كمية الحركة

Newton	نيوتن (وحدة قياس القوة)
Nutating disc	قرص مترنج
Ohm	أوم
Optical pyrometer	بيرومتر بصري
Organic reaction	تفاعل عضوي
Orifice	فتحة
Orifice plate	لوح ذو فتحة
Oval gear	مسننة بيضاوية
Partial immersion thermometer	ترمومتر غمر جزئي
Pascale	بسكال
Phase	طور
Photo-electric	كهروضوئي
Pickling	معالجة في حمام حمضي
Pitot tube	أنبوبة بيتوت
PLane angle	زاوية مستوية
Plug	صمام
Polarization	استقطاب
Precision	ضباطة
Pressure head	علو الضغط
Primary element	عنصر رئيسي
Priming pump	مضخة تحضير أولى
Pyrometer	بيرومتر
Pyrometric cone	مخروط بيرومتر (مخروط حراري)
Radian	زاوية نصف قطرية (راديان)
Radiant energy	طاقة إشعاعية
Radiant flux	فيض إشعاعي
Radiation detector	مكشاف إشعاع

Radiation Pyrometer	بيرومتر الإشعاع
Radiation thermometer	ترمومتر الإشعاع
Range	مدى
Rate of flow meter	مقياس معدل التدفق
Readability	القابلية للقراءة
Reciprocating piston	مكبس ترددي
Repeatability	تكرارية
Reproduction	استعادة
Reservoir	خزان
Response	استجابة
Resistivity	مقاومية
Rotameter	روتامتر
Rotating impeller	دفاعة دوارة
Screw press	مكبس لولبي
S.I Units	وحدات النظام الدولي
Sliding valve	صمام متزلق
Sliding vane	ريشة منزلقة
Solid angle	زاوية مجسمة
Span	اتساع (امتداد)
Specific Volume	حجم نوعي
Spinning	تشكيل بالرحو
Standard	أمام - قياسي
Static error	خطأ استاتيكي
Steam flow	تدفق البخار
Steradian	(ستراديان)
Stop	مصد
Strain guage	مقياس انفعال

Stress	إجهاد
Substandard	مربط
Swirl	دوامة (حركة دوامية)
Swirl velocity	سرعة التدويم
Total immersion thermometer	ترمومتر غمر تام
Temperature compensator	معوّض درجة الحرارة
Temperature scale	مقياس درجة الحرارة
Thermocouple	مزدوجة حرارية
Thermocouple junction	وصلة المزدوجة الحرارية
Thermocouple thermometer	ترمومتر المزدوجة الحرارية
Thermometer sheath	غلاف الترمومتر
Torque	عزم دوران
Travel	شوط
U-tube	أنبوبة شكل U
Vapor pressure	ضغط البخار
Venturi tube	أنبوبة «فنتوري»
Vernier manometer	مانومتر ذو ورنية
Wave number	عدد الموجة
Wein's law	قانون «فين»
Weir	سد
Wheatstone's Bridge	قنطرة «هويتسون»

## المصطلحات الفنية

( عربى - إنجليزى )

Span	اتساع
Stress	إجهاد
Displacement	إزاحة
Base	أساسية
Responce	استجابة
Illuminance	استضاءة
Polarization	استقطاب
Reproduction	استعادة
Acetone	إسيتون
Black body radiation	إشعاع الجسم الأسود
Luminance	إضاءة
Bourdon tube	أنبوبة « بوردون »
Pitot tube	أنبوبة « بيتوت »
U-tube	أنبوبة شكل
Venturi tube	أنبوبة « فنتورى »
Strain	انفعال
Ohm	أوم
Pascale	بسكال
Bulb	بصيلة
Pyrometer	بيرومتر
Radiation Pyrometer	بيرومتر الإشعاع

Optical pyrometer	بيرومتر بصرى
Automatic optical pyrometer	بيرومتر بصرى تلقائى
Annealing	تخمير (تلدين)
Steam flow	تدفق بخار
Spinning	تشكيل بالرحو
Rotational frequency	تردد دورانى
Repeatability	تكرارية
Thermocouple thermometer	ترمومتر المزدوجة الحرارى
Radiation thermometer	ترمومتر الإشعاع
Beckmann thermometer	ترمومتر «بكان»
Expansion thermometer	ترمومتر التمدد
Change of state thermometer	ترمومتر تغير الحالة
Bimetallic thermometer	ترمومتر المعدن
Glass thermometer	ترمومتر زجاجى
Gas thermometer	ترمومتر غازى
Total immersion thermometer	ترمومتر غمر تام
Partial immersion thermometer	ترمومتر غمر جزئى
Complete immersion thermometer	ترمومتر غمر كلى
Organic reactions	تفاعلات عضوية
Concentration	تركيز
Repeatability	تكرارية
Spinning	تشكيل بالرحو
Thermistor	ترموستور
Electric potential	جهد كهربائى
Joul	جول
Baffle	حاجز (عارضضة)
Specific Volume	حجم فوعى



Limits of error	حدود الخطأ
Sensitivity	حساسية
Latent heat	حرارة كامنة
Reservoir	خزان
Error	خطأ
Hysteresis	خطأ البطء
Static error	خطأ استاتيكي
Rotating impeller	دفاعة دوارة
Accuracy	دقة
Fluted Spiral rotor	دوار حلزوني مخدد
Swirl	دوامة (حركة دوامية)
Solid angle	زاوية مجسمة
Plane angle	زاوية مستوية
Radian	زاوية نصف قطرية (راديان)
Steradian	زاوية نصف قطرية مجسمة (ستراديان)
Response time	زمن استجابة
Sliding vane	ريشة منزلقة
Rotameter	روتامتر
Alloy	سبيكة
Weir	سد
Swirl velocity	سرعة التدويم
Angular velocity	سرعة زاوية
Average velocity	سرعة متوسطة
Heat capacity	سعة حرارية
Electric capacitance	سعة كهربائية
Luminous intensity	شدة إضاءة
Impregnate	شرب

Travel	شوط
Liquid steel	صلب سائل (مصهور)
Precision	ضباطة
Vapor pressure	ضغط البخار
Atmospheric pressure	ضغط جوى
Differential pressure	ضغط فرق
Absolute pressure	ضغط مطلق
Radiant energy	طاقة إشعاعية
Heat energy	طاقة حرارية
Specific energy	طاقة نوعية
Phase	طور
Acceleration	عجلة (تسارع)
Angular acceleration	عجلة زاوية
Diaphragm	غشاء (رق)
Thermometer sheat	غلاف الترمومتر
Rate of flow meter	عداد معدل التدفق
Wave number	عدد الموجة
Moment of force	عزم القوة
Torque	عزم دوران
Moment of momentum	عزم كمية الحركة
Pressure head	علو الضغط
Primary elements	عناصر رئيسية
Orifice	فتحة
Flow orifice-meter	عداد التدفق ذو الفتحة
Radioactivity	فاعلية إشعاعية
Filament	فتيلة
Potential difference	فرق جهد

Open hearth furnace	فرق المجرمة المكشوفة
Volt	فولن
Radiant flux	فيض (تدفق) إشعاعى
Flow nozzle	فوهة التدفق
Luminous flux	فيض ضوئى
Readability	قابلية القراءة
Collapsible die	قالب قابل للطي
Stefan Baltzmann law	قانون (ستيفان بولترمان)
Wein's law	قانون «فين»
Hook's law	قانون «هوك»
Light train	قطار ضوئى
Funnel	قع
Emissive power	قدرة الانبعاث
Absorptive power	قدرة الامتصاص
Nutating Disc	قرص مترنح
Weir	قنطرة احتجاز
Wheatsone bridge	قنطرة هويتستون
Mass	كتلة
Angular moment	كمية متحرك زاوى
Amount of substance	كمية مادة
Photo electric	كهرو ضوئى
Orifice plate	لوح ذو فتحة
Inclined limb manometer	مانومتر ذو ساق مائلة
Vernier manometer	مانومتر ذو ورنية
Fluid	مائع
Pyrometric cone	مخروط بيرومترى
Gauge pressure	مدلول مقياس الضغط

Range	مدى
Substandards	مرابط
Thermocouple	مزدوجة حرارية
Oval gear	مستنات يضاوية
Flume	مسيل (عريض منحدر)
Stop	مصد
Priming pump	مضخة تخضير أولى
Pickling	معالجة فى حمام حمضى
Diffusion coefficient	معامل انتشار
Coefficient of heat transfer	معامل انتقال الحرارة
Discharge coefficient	معامل التصريف
Flow meter prover	معاير مقياس التدفق
Mass flow rate	معدل تدفق كتلى
Temperature compensator	معوّض درجة الحرارة
Electrical resistance	مقاومة كهربائية
Resistivity	مقاومية
Strain gauge	مقياس الانفعال
Temperature scale	مقياس درجة الحرارة
Barometer	مقياس الضغط الجوى
Diaphragm pressure gauge	مقياس الضغط ذو الغشاء
Flow straightener	مقوم التدفق
Reciprocating Piston	مكبس ترددى
Rotating piston	مكبس دوار
Screw press	مكبس لولبى
Radiation detector	مكشاف الإشعاع
Bellows	منفاخ
Electric conductance	مواصلة كهربائية

Conductivity	موصلية
Gearing ratio	نسبة التعشيق
International system (SI)	نظام دولى
Bernoulli's theorem	نظرية (برنولى)
Boiling point	نقطة الغليان
Newton (force unit)	نيوتن (وحدة القوة)
Hertz	هرتز
Hygrometer	هيجرومتر (مقياس الرطوبة)
Metric units	وحدات مترية
SI units	وحدات النظام الدولى
Thermocouple Junction	وصلة المزدوجة الحرارية



## المراجع الأجنبية

1. E.B. Jones. Instrument Technology. Vol 1 "measurement of Pressure, Level, Flow and Temperature" 3rd edition Newnes-Butterworths (1972).
2. M.B. Moore. Theory and Application of Mechanical Engineering Measurements. (1972).  
Robert Krieger Publishing Co. New York.
3. Fribance. Industrial Instrumentation Fundamentals (1962).  
Mc Graw-hill.
4. ASME PTC 19.3-1974 "Temperature Measurement".
5. W.G. Andrew Applied Instrumentation in the Process Industries Vol. 1: A Survey (1974).  
Gulf Publishing Company, Houston, Texas U.S.A.
6. NBS Special Publication 420 (1975) "The international Bureau of Weights and Measures 1875-1975".
7. NBS Special Publication 304 A (Reissued 1974) "Brief History of Measurement Systems".
8. Benedict Fundamentals of Temperature Pressure and Flow Measurements (1969) J. Wiley.
9. The Society of Manufacturing Engineers, Handbook of Industrial Metrology 1967.
10. D.M. Considine "Handbook of Applied Instrumentation".
11. Revista de normalizacion Y metrologia-Cuba. No. III N1 ENERO-MARZO 1973.  
"Masas Y Medidas En El Antiguo Egipto", -Hamdy El Dosokey.



### المراجع العربية

أساليب وأجهزة القياس في الهندسة الميكانيكية تأليف : ر. ج سويني ، ترجمة  
د . أحمد عباس الشرييني .

رقم الإيداع	١٩٧٨/٢١٨٤
الترقيم الدولي	ISBN ٩٧٧-٢٤٧-١٩٦-٥
١٢٨/٧٧/ق	

طبع بمطابع دار المعارف (ج.م.ع.)





## يصدر في هذه السلسلة :

- الغازات الصناعية      المهندس سعيد عبد الغفار
- الآلات الكهربائية ووقايتها      المهندس زكريا عبود أمين
- القياسات في الصناعة      حمدي يس الدسوقي
- الأفران الصناعية      المهندس سعيد عبد الغفار
- تآكل المعادن      المهندس عادل شلش
- تشكيل الألواح المعدنية      المهندس محمد كمال الطيب

## هذا الكتاب

## القياسات في الصناعة

ابتكر الإنسان المقاييس والأوزان وهو يتكر الوسائل الأولى في  
ممارسته الحياة . . فالمجتمعات البدائية وجدت أنها بحاجة إلى مقاييس  
مختلفة لتنفيذ كثير من الأعمال مثل بناء المساكن . . وتحديد مساحات  
التراب . . ومراقبة  
إة المختلفة .  
لرقها الثابتة

٤٥٠ - ٩١ / ٢٤٨٧٨

